

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LEANDRO WIEMES

**UTILIZAÇÃO DE LODOS DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA COMO
COMPONENTE DE VALOR PARA FABRICAÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS**

CURITIBA

2013

LEANDRO WIEMES

UTILIZAÇÃO DE LODOS DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA COMO
COMPONENTE DE VALOR PARA FABRICAÇÃO DE MATERIAIS CERÂMICOS

Tese apresentada ao PPGERHA – Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia, como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Urivald Pawlowsky
Coorientador: Prof. DSc. Vsevolod Mymrine

CURITIBA

2013

Wiemes, Leandro

Utilização de lodos da indústria automobilística como componente de valor para fabricação de materiais cerâmicos / Leandro Wiemes. – Curitiba, 2013.

164 f. : il.; tab.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Urivald Pawlowsky

Coorientador: Vsévolod Mymrine

1. Cerâmica. 2. Lodo – Indústria automobilística. I. Pawlowsky, Urivald. II. Mymrine, Vsévolod. III. Título.

CDD 662.82



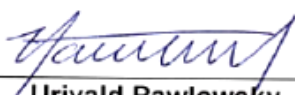
TERMO DE APROVAÇÃO

LEANDRO WIEMES

“Utilização de Lodos da Indústria Automobilística como Componente de Valor para Fabricação de Materiais Cerâmicos”

Tese aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:



Urivald Pawlowsky
Universidade Federal do Paraná
Orientador

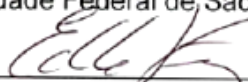
MEMBROS:




Vsévolod Mymrine
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Co-Orientador




Anselmo Ortega Boschi
Universidade Federal de São Carlos



Eduardo L. Krüger
Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Maria Cristina Borba Braga
Universidade Federal do Paraná



Júlio César R. de Azevedo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Curitiba, 05 de novembro de 2013

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que tem proporcionado na minha vida pessoal e profissional, e que tornou possível a realização e concretização deste sonho.

A Sylviane pelo seu amor e sua paciência, compreensão e apoio em todos os momentos, principalmente naqueles mais difíceis, e a meus filhos Leandro e Natália pelo amor, carinho e compreensão principalmente por todas as horas que não estive presente com eles. A meus pais Guido e Judith, pelo amor, pela vida concebida e apoio contínuo. A meus irmãos Fabiano e Telmo e meus cunhados Luciano e Fabiano pelas várias discussões, colaborações e apoio contínuo. E a todos meus familiares que também participaram dessa grande caminhada.

Agradeço a meus orientadores, Prof. Pawlowsky e Prof. Seva pelo apoio, dedicação, por todos os questionamentos, sugestões e ideias para o desenvolvimento do trabalho.

Aos professores do Programa PPGHERA, principalmente Prof^a. Maria Cristina Braga, Prof. Júlio, Prof. Cristóvão, Prof^a. Miriam, Prof. Miguel, Prof. Tobias, Prof^a Ana Mercê (PIPE), Prof. Jorge Carlos Guerra (UTFPR), Prof^a. Daniela Neuffer (ISWA – Universidade Stuttgart), Prof. Klaus Fischer (ISWA – Universidade Stuttgart) e Prof^a. Margarete Erbe (MAUI – UFPR) que acreditaram, me apoiaram e acompanharam no desenvolvimento deste grande projeto. Também agradeço aos Professores que participaram de forma direta ou indireta desta conquista e aporte de conhecimento, assim como aos Professores integrantes da Banca de Defesa, Prof. Anselmo (UFSCar) e Prof. Eduardo (UTFPR).

Aos meus colegas de curso e de trabalho, ao Sr. Antônio L. Mendes e a Prof^a. Sônia G. Ribaski, pelo apoio e incentivo.

Aos Laboratórios da UFPR: Laboratório de Engenharia Ambiental Francisco Borsari Netto (LABEAM), Laboratório de Tecnologia Ambiental (LTA) e Laboratório de Análises de Minerais e Rochas (LAMIR), Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC), ao Laboratório DIMAT da Renault do Brasil e aos Laboratórios de Engenharia Civil da UTFPR e de Engenharia Química da UFPR que permitiram a realização dos testes laboratoriais nas suas dependências.

Sou imensamente grato.

A ambiguidade da noção de desenvolvimento sustentável reside em que, ao mesmo tempo em que se aceita a existência de limites aos modos de vida que não sejam compatíveis com os princípios ecológicos, mantém-se a crença no crescimento ou desenvolvimento [...] para satisfazer as necessidades humanas. A ela junta-se a indefinição do conceito de necessidade (GARCIA; VERGARA, 2000).

“A gestão do meio ambiente está diretamente vinculada à participação, à pesquisa científica..., aos saberes acumulados, às sabedorias de vida e aos valores éticos, como estratégias fundamentais para promover a sustentabilidade das sociedades... (TRISTÃO, 2004)”

RESUMO

Este trabalho apresenta o resultado da análise de adição de produtos caracterizados como resíduos no processo de fabricação de cerâmica vermelha (tijolos), tendo como princípio a implantação do conceito de produção mais limpa, com enfoque na definição de um novo produto com característica sustentável. Entre os resíduos utilizados, dois deles apresentam relevante importância: o resíduo proveniente da ETE de duas indústrias automotivas e o pó de vidro, proveniente de indústria mecânica, caracterizados como resíduos classe I pelas normas brasileiras e que se apresentam/são caracterizados como nocivos ao meio ambiente e à saúde humana. Através da incorporação destes dois resíduos em uma matriz cerâmica a base de argila, foram estabelecidas as formulações frente àquelas existentes em literatura, tomando como abordagem o lodo galvânico, devido à falta de literatura em relação à área de origem dos resíduos. Corpos de prova foram avaliados em escala laboratorial a partir das formulações estabelecidas e diferentes temperaturas de queima, considerando suas características mecânicas em comparação à literatura e as respectivas normas do setor cerâmico. Após a escolha das composições que apresentaram melhores valores de características mecânicas, foram realizados os ensaios para verificação quanto às demais exigências estabelecidas em legislação, de forma a comprovar se a(s) formulação(ões) escolhida(s) pode(m) ser caracterizada(s) como adequada(s) para aplicação industrial.

Palavras-chave: Cerâmica vermelha - Lodo Automobilístico - Inertização – Resíduos Industriais.

ABSTRACT

This thesis presents the results of analysis of the addition of products characterized as waste in the manufacturing process of red ceramic, having as principal implementing the concept of cleaner production, focusing on defining a new product. Among the waste materials used, two of them had relevant importance: the waste from an automotive ETE and glass powder from a mechanical industry, characterized as Class I waste according to Brazilian standards and which have / are characterized as dangerous to the environment and to human health. Applying these residues in clay ceramic matrix, formulations were set to those described in the literature, taking as the galvanic sludge approach, due to the lack of literature regarding the area of waste origin. Samples were evaluated in laboratory scale from established formulations and different firing temperatures, considering its mechanical characteristics in comparison to literature and its ceramic industry standards. After choosing the compositions which showed higher values of mechanical characteristics, assays were performed to check other requirements prescribed by legislation, in order to prove whether the chosen formulation can be characterized as appropriate for industrial application.

Key words: Red Ceramic - Automobile Waste - Inertization - Industrial Waste.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 – SINÓTICO DA PINTURA DA ETAPA DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE (TTS), CATAFORESE (CATA) E ESTUFA..... | 38 |
| FIGURA 2 – EQUIPAMENTO FILTRO PRENSA LOCAL DE COLETA DO LODO INDUSTRIAL..... | 39 |
| FIGURA 3 – SINÓTICO DA PINTURA DA ETAPA DE APLICAÇÃO DE SELANTE "PVC" | 40 |
| FIGURA 4 – SINÓTICO DA PINTURA DA ETAPA DE APLICAÇÃO DE <i>PRIMER</i> ... | 41 |
| FIGURA 5 – SINÓTICO DA PINTURA DA PREPARAÇÃO E APLICAÇÃO DE BASE E VERNIZ | 42 |
| FIGURA 6 – SINÓTICO DA PINTURA DA APLICAÇÃO E INJEÇÃO DE CERA EM CAVIDADES | 43 |
| FIGURA 7 – BALANÇO DE MASSA DE PROCESSO INDUSTRIAL CONSIDERANDO ENTRADA DE MATÉRIAS PRIMAS E INSUMOS, SUAS SAÍDAS E GERAÇÕES DE RESÍDUOS..... | 47 |
| FIGURA 8 – ORDEM DE PRIORIDADE PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS COMPARANDO A ATITUDE ATUAL <i>VERSUS</i> A ATITUDE A SER ADOTADA..... | 50 |
| FIGURA 9 – EVOLUÇÃO DE EMPRESAS RUMO À PRODUÇÃO MAIS LIMPA CONSIDERANDO DIFERENTES FOCOS | 55 |
| FIGURA 10 – FLUXOGRAMA DA GERAÇÃO DE OPÇÕES DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA | 56 |
| FIGURA 11 – PRIORIZAÇÃO ADOTADA NA PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO | 60 |
| FIGURA 12 – a) ESPAÇAMENTO ENTRE MOLÉCULAS DA CAULINITA VISUALIZANDO OS ELEMENTOS CONSTITUINTES, E b) VISTA SUPERIOR DA ESTRUTURA DA CAULINITA..... | 72 |
| FIGURA 13 – VISUALIZAÇÃO DO MOINHO DE CARBETO DE TUNGSTÊNIO, MODELO AMEF AMP1-M UTILIZADO NAS MOAGENS DOS MATERIAIS..... | 90 |
| FIGURA 14 – PRENSA HIDRÁULICA UNIAXIAL (MARCA BOVENAU, CAPACIDADE 5 T) UTILIZADA NA PREPARAÇÃO DOS CPS | 92 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 15 – FORNO ELÉTRICO DE ALTA TEMPERATURA (LINN ELEKTRO THERM COM CONTROLE DIGITAL, CAPACIDADE 1300°C) UTILIZADO PARA QUEIMA DOS CPS | 93 |
| FIGURA 16 – REPRESENTAÇÃO DA CORRELAÇÃO TEMPO X TEMPERATURA DE CURA DAS AMOSTRAS EM FORNO E SUAS TRANSFORMAÇÕES EM DIFERENTES ESTÁGIOS..... | 94 |
| FIGURA 17 – a) REPRESENTAÇÃO DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO; b) DISPOSITIVO UTILIZADO PARA REALIZAR O ENSAIO | 96 |
| FIGURA 18 – REPRESENTAÇÃO DO DRX DA ARGILA, QUE APRESENTA AS ESTRUTURAS CRISTALINAS DA CAOLINITA E QUARTZ | 103 |
| FIGURA 19 – a) ANÁLISE MORFOLÓGICA DA ARGILA SC REALIZADA VIA MEV A 1000X, E b) REALIZADA A 5000X..... | 105 |
| FIGURA 20 – REPRESENTAÇÃO DO DIFRATOMETRIA DE RAIOS X DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A, QUE DEMONSTRA A ESTRUTURA CRISTALINA DA CALCITA..... | 105 |
| FIGURA 21 – a) ANÁLISE MORFOLÓGICA DO LODO ETE DA INDÚSTRIA A VIA MEV A 1000X E b) A 1000X, EM UM SEGUNDO PONTO..... | 107 |
| FIGURA 22 – DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B | 108 |
| FIGURA 23 – a) ANÁLISE MORFOLÓGICA DO LODO ETE DA INDÚSTRIA B VIA MEV COM AUMENTO DE 300X; b) COM AUMENTO DE 1000X . | 109 |
| FIGURA 24 – REPRESENTAÇÃO DO DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DO VIDRO (MV) | 109 |
| FIGURA 25 – a) ANÁLISE MORFOLÓGICA DA MV REALIZADA VIA MEV, AMPLIAÇÃO DE 300X, E b) AMPLIAÇÃO DE 1000X, SOBRE ESFERA DE MAIOR DIÂMETRO | 111 |
| FIGURA 26 – REPRESENTAÇÃO DO DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DO ENTULHO..... | 111 |
| FIGURA 27 – a) ANÁLISE MORFOLÓGICA DO ENTULHO REALIZADA VIA MEV, AUMENTO DE 50X, E b) AUMENTO DE 1000X..... | 112 |
| FIGURA 28 – REPRESENTAÇÃO DO DIFRATOGRAMA DE RAIOS X DA CINZA DE MADEIRA..... | 114 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 29 a) ANÁLISE MORFOLÓGICA DA CINZA MADEIRA REALIZADA VIA MEV COM AMPLIAÇÃO DE 1000X, E b) COM AMPLIAÇÃO DE 2000X..... | 115 |
| FIGURA 30 – REPRESENTAÇÃO DO DIFRACTOGRAMA DA CERÂMICA COMPOSIÇÃO ETE-A7, QUEIMADA A 850°C DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A | 117 |
| FIGURA 31a) – ANÁLISE DA ESTRUTURA DA AMOSTRA ETE-A7 QUEIMADA A 850°C, VIA MEV E AUMENTO DE 1000X. b) TRINCA DA AMOSTRA ETE-A7 QUEIMADA A 850°C REALIZADA VIA MEV TAMBÉM COM AUMENTO DE 1000X | 118 |
| FIGURA 32 – VALORES DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO DAS DIVERSAS AMOSTRAS QUEIMADAS EM DIFERENTES TEMPERATURAS DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A | 119 |
| FIGURA 33 – RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE AMOSTRAS QUEIMADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, CONTENDO 4% LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A | 120 |
| FIGURA 34 – RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE AMOSTRAS QUEIMADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, CONTENDO 6% LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A | 120 |
| FIGURA 35 – RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE AMOSTRAS QUEIMADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, CONTENDO 8% DE LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A | 120 |
| FIGURA 36 – RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE AMOSTRAS QUEIMADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, CONTENDO 10% DE LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A | 120 |
| FIGURA 37 – VALORES DE RETRAÇÃO LINEAR (%) DAS AMOSTRAS QUEIMADAS EM DIFERENTES TEMPERATURAS, DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A | 122 |
| FIGURA 38 – RETRAÇÃO LINEAR DE AMOSTRAS QUEIMADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, CONTENDO 4% LODO ETE DA INDÚSTRIA A | 123 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 39 – RETRAÇÃO LINEAR DE AMOSTRAS QUEIMADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, CONTENDO 6% LODO ETE DA INDÚSTRIA A | 123 |
| FIGURA 40 – RETRAÇÃO LINEAR DE AMOSTRAS QUEIMADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, CONTENDO 8% LODO ETE DA INDÚSTRIA A | 123 |
| FIGURA 41 – RETRAÇÃO LINEAR DE AMOSTRAS QUEIMADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, CONTENDO 10% LODO ETE DA INDÚSTRIA A | 123 |
| FIGURA 42 – AMOSTRAS DOS CPS COM LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A, QUEIMADOS A 850°C. A COLORAÇÃO OBSERVADA NOS CPS DA AMOSTRA ETE-A7 CONTENDO 6% DE LODO E 8% MV E NA AMOSTRA ETE-A1 CONTENDO 4% DE LODO E 4% MV | 124 |
| FIGURA 43 – RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO – AMOSTRAS LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B | 126 |
| FIGURA 44 – RESULTADO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO – ARGILA / LODO E CINZA. | 126 |
| FIGURA 45 – RESULTADO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO – ARGILA / LODO / CINZA E VIDRO | 126 |
| FIGURA 46 – RESULTADO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO DAS AMOSTRAS CONTENDO PERCENTUAIS DIFERENTES DE MATÉRIAS PRIMAS – ARGILA / LODO E ENTULHO..... | 128 |
| FIGURA 47 – a) ANÁLISE ESTRUTURAL DO CP 100% ARGILA, VIA MEV COM AUMENTO DE 500X, E b) COM AUMENTO DE 2000X..... | 129 |
| FIGURA 48 – REPRESENTAÇÃO DO DIFRACTOGRAMA DE RAIOS X DA CERÂMICA AMOSTRA ETE-B3, COM LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B | 131 |
| FIGURA 49 – a) ANÁLISE MORFOLÓGICA DA AMOSTRA ETE-B3 REALIZADA VIA MEV COM AUMENTO DE 500X E, b) COM AUMENTO DE 1000X..... | 131 |
| FIGURA 50 – PRINCIPAIS RESULTADOS DE RETRAÇÃO LINEAR (%) OBTIDAS DAS AMOSTRAS TESTADAS COM LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B | 133 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 51 – RESULTADOS DE RETRAÇÃO LINEAR – ARGILA / LODO / CINZA | 134 |
| FIGURA 52 – RESULTADOS DE RETRAÇÃO LINEAR – ARGILA / LODO / CINZA E VIDRO..... | 134 |
| FIGURA 53 – RESULTADOS DE RETRAÇÃO LINEAR – ARGILA / LODO / ENTULHO..... | 135 |
| FIGURA 54 – DIFERENÇA DE COLORAÇÃO OBSERVADA NOS CPS CONFECCIONADOS COM LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B QUEIMADOS A 850° C, NA AMOSTRA ETE-B3 CONTENDO 40% DE LODO E NA AMOSTRA ETE-B5 CONTENDO 4%..... | 135 |
| FIGURA 55 – MAPA DAS FÁBRICAS DE AUTOMÓVEIS NO BRASIL | 136 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| TABELA 1 – FASES DE IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA ZERI | 52 |
| TABELA 2 – COMPOSIÇÃO PERCENTUAL DAS DIFERENTES AMOSTRAS CONSIDERANDO A UTILIZAÇÃO DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A..... | 98 |
| TABELA 3 – COMPOSIÇÃO PERCENTUAL DAS DIFERENTES AMOSTRAS CONSIDERANDO A UTILIZAÇÃO DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B E INCORPORAÇÃO DE OUTROS RESÍDUOS | 99 |
| TABELA 4 – ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS IDENTIFICADOS NOS PROCESSOS DE DESENGRAXE E ENXÁGUE DO TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE | 101 |
| TABELA 5 – ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS IDENTIFICADOS NOS PROCESSOS DE ATIVAÇÃO, FOSFATIZAÇÃO E ENXÁGUE PÓS FOSFATO DO TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE | 101 |
| TABELA 6 – ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS IDENTIFICADOS NOS PROCESSOS DE CATAFORESE E ENXÁGUE | 102 |
| TABELA 7 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ARGILA COLETADA EM SC, REALIZADA POR MEIO DE FRX | 104 |
| TABELA 8 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A REALIZADA POR MEIO DE FRX | 106 |
| TABELA 9 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B REALIZADA POR MEIO DE FRX | 108 |
| TABELA 10 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO VIDRO COLETADO EM INDÚSTRIA METAL MECÂNICA DA RMC, REALIZADA POR MEIO DE FRX | 110 |
| TABELA 11 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ENTULHO COLETADO NA REGIÃO DE PONTA GROSSA, REALIZADA POR MEIO DE FRX..... | 112 |
| TABELA 12 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CINZA DE MADEIRA REALIZADA POR MEIO DE FRX..... | 114 |
| TABELA 13 – RESISTÊNCIA À FLEXÃO DAS AMOSTRAS DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A APÓS QUEIMA EM FORNO | 116 |

| | |
|---|-----|
| TABELA 14 – RETRAÇÃO LINEAR (%) PÓS QUEIMA DE CP'S EM FORNO COM LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A..... | 121 |
| TABELA15 – RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MPA) – AMOSTRA ETE-B3 – LODO ETE DA INDÚSTRIA B. | 125 |
| TABELA 16 – RESULTADOS DE RETRAÇÃO (%) DOS TESTES REALIZADOS COM AMOSTRAS DE LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B | 132 |
| TABELA 17 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA AMOSTRA ETE-B3, PREPARADA COM LODO DE ETE DA INDÚSTRIA..... | 136 |
| TABELA 18 – ANÁLISE SOLUBILIZAÇÃO DAS AMOSTRAS QUEIMADAS. | 137 |
| TABELA 19 – ANÁLISE LIXIVIAÇÃO DAS AMOSTRAS QUEIMADAS..... | 138 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|-----------|---|
| ABETRE | Associação Brasileira de Tratamento de Resíduos |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABRECON | Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição |
| ACV | Análise do Ciclo de Vida |
| AIA | Aspecto e Impacto Ambiental |
| ANICER | Associação Nacional da Indústria Cerâmica |
| BDNES | Banco Nacional de Desenvolvimento Sustentável |
| CEC | Comissão da Comunidade Europeia |
| CMMAD | Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento |
| CEMPRE | Compromisso Empresarial para Reciclagem |
| CETESB | Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental |
| CIMM | Centro de Informação Metal Mecânica |
| CLP | Controlador Lógico Programável |
| CONFEA | Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia |
| CONAMA | Conselho Nacional de Meio Ambiente |
| CP | Corpo de Prova |
| DRX | Difração de Raio-X |
| EDS | <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> |
| ETE | Estação de Tratamento de Efluentes |
| FENABRAVE | Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores |
| FIEP | Federação das Indústrias do Paraná |
| FINEP | Financeira de Estudos e Projetos |
| FRX | Fluorescência de Raio-X |
| IAP | Instituto Ambiental do Paraná |
| MEV | Microscópio Eletrônico de Varredura |
| MRF | Módulo de Resistência à Flexão |
| MV | Microesfera de Vidro |
| ONG | Organização Não Governamental |
| PF | Perda ao Fogo |

| | |
|----------|--|
| PGRS | Programa de Gerenciamentos de Resíduos Sólidos |
| PNRS | Política Nacional de Resíduos Sólidos |
| PNUMA | Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente |
| P2 | Prevenção a Poluição |
| P+L | Produção Mais Limpa |
| PR | Paraná |
| PVC | Policloreto de Vinila |
| RCC | Resíduo da Construção Civil |
| RCD | Resíduo da Construção e Demolição |
| RMC | Região Metropolitana de Curitiba |
| SC | Santa Catarina |
| SEMA | Secretaria de Estado do Meio Ambiente |
| SENAI-RS | Serviço Nacional de Indústria – Rio Grande do Sul |
| SGA | Sistema de Gestão Ambiental |
| SISNAMA | Sistema Nacional do Meio Ambiente |
| SMMA | Secretaria Municipal do Meio Ambiente |
| SNVS | Sistema Nacional de Vigilância Sanitária |
| SUASA | Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária |
| UFPR | Universidade Federal do Paraná |
| UNEP | <i>United Nations Environment Program</i> |
| USEPA | <i>United States Environmental Protection Agency</i> |
| WWF | <i>World Wildlife Fund</i> |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 20 |
| 1.1. OBJETIVOS | 23 |
| OBJETIVO GERAL | 23 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 23 |
| 1.2. RELEVÂNCIA DO TEMA | 24 |
| 1.3. DELIMITAÇÃO DO TEMA | 25 |
| 1.4. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO | 27 |
| 2 REVISÃO DA LITERATURA | 29 |
| 2.1. SUSTENTABILIDADE E MEIO AMBIENTE | 29 |
| 2.2. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE VEÍCULOS | 33 |
| 2.2.1. Processos de Estampagem e Armação/Soldagem | 34 |
| 2.2.2. Processo de Pintura | 34 |
| 2.2.2.1. Desengraxe de Carrocerias | 35 |
| 2.2.2.2. Fosfatização | 36 |
| 2.2.2.3. Eletrodeposição Catódica (CATA) | 37 |
| 2.2.2.4. Aplicação Massas Vedantes / Selantes (PVC) | 39 |
| 2.2.2.5. Aplicação <i>Primer</i> | 40 |
| 2.2.2.6. Aplicação Base e Verniz | 41 |
| 2.2.2.7. Aplicação de Cera | 42 |
| 2.2.2.8. Processo de Montagem | 43 |
| 2.3. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS | 43 |
| 2.3.1. Desenvolvimento de Novos Produtos | 46 |
| 2.3.2. Caracterização de Resíduos | 47 |
| 2.3.3. ZERI – <i>Zero Emission Research Initiative</i> | 51 |
| 2.3.4. Produção Mais Limpa – P+L | 54 |
| 2.3.4.1. Minimização de Resíduos / Prevenção a Poluição (P2) | 57 |
| 2.3.4.2. Resíduos como Matéria-Prima | 58 |
| 2.3.4.3. Reciclagem e Valorização de Resíduos | 61 |
| 2.3.5. Sinterização | 63 |
| 2.3.6. Vitrificação | 65 |
| 2.3.7. Capitalismo Natural | 68 |

| | |
|---|------------|
| 2.3.8. Cerâmica Vermelha no Brasil | 69 |
| 2.3.9. Argilas..... | 70 |
| 2.3.10. Entulho | 73 |
| 2.3.11. Cinza de Madeira | 74 |
| 2.3.12. Microesferas de Vidro - MV | 75 |
| 2.4. APLICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM MATRIZ DE ARGILA | 76 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 87 |
| 3.1. RESÍDUOS INDUSTRIAIS | 89 |
| 3.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS | 90 |
| 3.3. FORMULAÇÕES ESTUDADAS | 98 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 100 |
| 4.1. ANÁLISE DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS | 100 |
| 4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS | 103 |
| 4.2.1. Argila | 103 |
| 4.2.2. Lodo de ETE da INDÚSTRIA A..... | 105 |
| 4.2.3. Lodo de ETE da Indústria B | 107 |
| 4.2.4. Vidro..... | 109 |
| 4.2.5. Entulho | 111 |
| 4.2.6. Cinza de Madeira | 113 |
| 4.3. ANÁLISES REALIZADAS COM LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A | 115 |
| 4.3.1. Ensaios de Resistência à Flexão – Lodo de ETE da Indústria A | 115 |
| 4.3.2. Retração Linear – Lodo de ETE da Indústria A | 121 |
| 4.4. ANÁLISES REALIZADAS COM LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B | 125 |
| 4.4.1. Ensaios de Resistência à Flexão – Lodo de ETE da Indústria B | 125 |
| 4.4.2. Retração Linear – Lodo de ETE da Indústria B | 132 |
| 4.5. ANÁLISES DE SOLUBILIZAÇÃO E LIXIVIAÇÃO | 136 |
| 4.5.1. Análise de Solubilização | 136 |
| 4.5.2. Análise de Lixiviação | 137 |
| 4.6. PROJEÇÃO DO USO DE RESÍDUOS..... | 138 |
| 4.7. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS OBTIDOS..... | 141 |
| 5 CONCLUSÃO | 147 |
| REFERÊNCIAS | 150 |
| ANEXOS | 162 |

1 INTRODUÇÃO

A busca pela melhoria contínua tem proporcionado à indústria, de forma geral, o desenvolvimento de seus processos produtivos na condição de torná-los cada vez mais robustos, porém com menores investimentos. Isso permite dizer que estes processos estão cada vez mais controlados e que apresentam rendimentos mais elevados, se avaliados, principalmente, sob o enfoque financeiro, isto é, desenvolvimento focado na redução de custos.

O desenvolvimento do setor industrial é tal que conceitos associados a sistemas de produção enxuta¹, fábricas certificadas em sistemas da qualidade (ISO 9.000:2000 e ISO 14.001:2004) favorecem o aumento contínuo da produção e, como consequência direta destas ações, ocorrem os recordes de produção superados quase que consecutivamente a cada mês e/ou ano. Considerando estes atributos, a maioria das indústrias tem conseguido atingir todos esses critérios e desempenhado rendimentos importantes nesse contexto de produção crescente e globalizada.

De forma abrangente, porém com consequências não definidas, ocorre o aumento do consumo no âmbito global. Fortemente impulsionada pela oferta de produtos que desempenham maior conforto, agilidade e velocidade, entre outras características, para atender às demandas cada vez maiores por parte dos consumidores.

Porém, quando se avalia o desempenho das indústrias no que diz respeito a sua contribuição ambiental, principalmente comparado ao aumento dos níveis de produção, o consumo crescente de matérias-primas, plásticos, metais, madeira, vidro ou outros, tem contribuído de forma significativa para maior exploração dos recursos naturais. Atrelado a este fato também pode ser citada a maior geração do potencial poluidor das indústrias, as quais normalmente não demonstram preocupação com os impactos ambientais

¹ Produção Enxuta – Termo utilizado na indústria que referencia o Sistema Toyota de Produção - modelo capaz de otimizar a produção reduzindo custos.

causados, principalmente na geração de resíduos e seu tratamento consiste fundamentalmente no princípio de tratamento de fim de tubo.

Apesar de contraditória, diante dos fatos anteriormente citados, a situação existente é crítica e muitas indústrias encontram-se na contramão do que pode ser denominado desempenho sustentável ou empresa ambientalmente correta. A geração de resíduos provenientes de processos de transformação é bastante considerável e a destinação normalmente aplicada é a disposição em aterros industriais ou o coprocessamento em fornos de cimento.

Apesar das leis existentes e da fiscalização por órgãos ambientais, ainda é possível observar, em casos específicos, a carga poluidora sendo lançada em rios, lagos, no ar e, em alguns casos, até diretamente no solo, sem que seja realizado o devido tratamento do resíduo gerado.

A pressão exercida pelos órgãos ambientais, pela comunidade e a definição de legislação pertinente têm contribuído para a minimização dos impactos. Empresas que demonstram atitudes ambientalmente corretas ou que conquistaram a Certificação ISO 14.000, destinam seus resíduos de forma menos agressiva no meio ambiente, em alguns casos até com significativa valorização, principalmente no que diz respeito aos resíduos à base de plásticos, papel, aço, vidro e outros.

Já os resíduos provenientes do processo de tratamento de efluentes industriais apresentam uma destinação menos nobre, entretanto com preocupações bastante significativas. Esses resíduos apresentam um impacto considerável na avaliação ambiental, pois podem apresentar metais pesados (Chumbo, Níquel, Cromo, Zinco, entre outros) e elementos, que em sua composição, segundo as técnicas de caracterização e as normas ambientais, serão classificados como Resíduos Classe I ou Resíduos Perigosos.

A cultura predominante na indústria ainda é bastante focada no direcionamento do lodo da ETE para coprocessamento.

A sustentabilidade de sistemas produtivos tem sido constantemente enaltecida do ponto de vista ambiental, pois permite caracterizá-los como ecologicamente corretos. No entanto, para se atingir tal nível de conceituação e

maturidade ambiental, não basta unicamente desenvolver atividades do processo em si. Devem ser considerados também os elementos que irão compor o ciclo de vida do produto desenvolvido.

Pretende-se assim fomentar ações com características focadas no processo produtivo, minimizando desperdícios e gastos desnecessários. Desta forma, objetiva-se desenvolver produtos ou insumos menos poluentes ou que explorem em menor intensidade os recursos e reservas naturais.

Para que esta iniciativa seja possível, é necessário favorecer pesquisas para a aplicação de materiais menos nobres ou, até então, inexplorados em substituições às matérias primas regularmente utilizadas. Uma das alternativas existentes consiste na incorporação de resíduos industriais no processo de fabricação de produtos a serem utilizados na construção civil. Ou seja, por meio de uma análise bem fundamentada e baseada em fatos e dados, desenvolver processo que será estruturado na técnica de minimização de resíduos, pelo reaproveitamento de resíduos de outros processos.

Desta forma, é possível afirmar que uma ação pontual permite contribuir para a obtenção de um resultado global, favorecendo a seleção de um produto ecologicamente correto, com menor exploração de reservas minerais, menor aplicação de energia e com custos significativamente reduzidos. Também permite caracterizar um empreendimento com conceitos ecologicamente corretos, demonstrando efetivamente uma visão sistêmica, com resultados efetivos quanto à aplicação teórica e prática da sustentabilidade no seu dia a dia.

A proposição apresentada neste trabalho consiste no desenvolvimento de uma técnica que permita a incorporação de resíduos provenientes da indústria automobilística no processo de fabricação de materiais cerâmicos (tijolos). Essa proposição também se fundamenta pela definição de uma nova técnica que permita reduzir o impacto ambiental pela conservação das reservas minerais, proporcionando valorização do resíduo existente e contribuindo para fomentar técnicas de desenvolvimento sustentável.

Os metais pesados presentes nos lodos de estação de tratamento de efluentes de indústrias automobilísticas, aqui denominados de lodo de ETE da

Indústria A e lodo de ETE da Indústria B consistem um problema, pois além de serem classificados como resíduos perigosos, caracterizando material com significativo impacto ambiental, apresentam considerável impacto econômico para sua destinação adequada.

A hipótese deste trabalho consiste na solução do problema relacionado aos metais pesados presentes nos resíduos da indústria automobilística incorporando-os à matriz cerâmica vermelha, fabricação de tijolos, juntamente com outros resíduos de modo a ligá-los quimicamente, sem apresentar problemas de lixiviação e solubilização, tornando-os inertes por meio da utilização das tecnologias existentes nas temperaturas atualmente utilizadas nas olarias. Pretende-se, portanto, desenvolver pesquisa para compreender o comportamento da cerâmica vermelha (tijolo) frente à adição de quantidade significativa de lodo *versus* a baixa temperatura de trabalho.

1.1. OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Desenvolver nova formulação para fabricação de cerâmica vermelha (tijolo) incorporando resíduos industriais como matéria prima.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar tipos de resíduos que podem ser aplicados às formulações cerâmicas;
- b) Determinar as composições de misturas de resíduos industriais automobilísticos para desenvolver nova cerâmica com propriedades físicas e químicas correspondentes às especificações brasileiras;
- c) Determinar regimes, operações e processos tecnológicos preferenciais para diminuir gastos de materiais e de energia para as propriedades requeridas;
- d) Pesquisar fenômenos de formação de estrutura das novas formulações.

1.2. RELEVÂNCIA DO TEMA

As atividades fabris da indústria automobilística são grandes consumidoras de insumos e matérias primas. No processo produtivo estes elementos são processados, manipulados e transformados de modo a obter um produto final com valor agregado. Porém, em contrapartida, evidencia-se também a geração de quantidades consideráveis de resíduos nas etapas dos processos produtivos automobilísticos, em sua maioria proveniente dos processos de pintura.

A preocupação existente com a quantidade de lodos industriais provenientes de indústrias automobilísticas, principalmente pela presença de metais pesados (chumbo, níquel, cromo e zinco) a eles incorporados, faz com que sejam caracterizados como resíduos perigosos, necessitando tratamento adequado, incineração ou disposição final (NBR 10004:2004).

As variáveis econômicas, ambientais e sociais podem ser modificadas no âmbito industrial ao se desenvolver uma tecnologia pela qual o lodo gerado pela indústria automobilística possa ser reaproveitado como uma via alternativa ao coprocessamento. Ambientalmente, o maior ganho acontece quando é possível reaproveitar ou reciclar os resíduos antes de destruí-los. Com o reaproveitamento dos materiais o ciclo de vida é aumentado e a demanda e/ou utilização de energia é reduzida.

Propõe-se o desenvolvimento de uma nova tecnologia que contribui de forma considerável para mitigar aspectos relacionados ao meio ambiente e incorporar lodo proveniente da indústria automobilística em relação a um material ou um processo industrial cerâmico, para fabricação de tijolos.

O que se pretende com esse estudo é proporcionar uma abordagem para uso dos resíduos industriais como elementos a serem incorporados à massa cerâmica. Dessa forma, o desenvolvimento deste estudo contribui para a minimização do uso ou da extração do recurso natural (argila) permitindo prolongamento de exploração da reserva mineral e contribuindo com técnicas ambientalmente corretas para estruturar esta abordagem. Pela correlação que

existe, o estabelecimento desta sistemática, além de atribuir um uso mais nobre ao que hoje é tido como resíduo, irá proporcionar a redução da quantidade de resíduos enviados para coprocessamento. Os benefícios gerados afetam tanto o gerador de resíduos, que poderá desembolsar menor quantia de dinheiro para fazer o destino de resíduos para a indústria de cerâmica vermelha em comparação ao coprocessamento, como para o utilizador do resíduo (por exemplo, uma olaria), que irá obter matéria prima em substituição parcial ao material atualmente utilizado (argila).

Além dos elementos anteriormente citados, outros dois fatores contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa: 1) o percentual de resíduo a ser acrescentado à massa original (argila) para definir a melhor formulação a ser pesquisada para a obtenção do componente cerâmico. Ou seja, a incorporação de teores de resíduos na faixa de 60%, fator preponderante para determinação do estudo, reduzindo significativamente a aplicação da argila na formulação da massa cerâmica, fato que não se observa nos trabalhos nacionais e internacionais pesquisados; e 2) além do resíduo automobilístico, também foram incorporados outros dois resíduos na mesma mistura, com o intuito de definir uma formulação robusta e adequada para atender as especificações mínimas necessárias para a fabricação de produtos a base de cerâmica vermelha, para ser aplicada nos testes laboratoriais.

Todos esses elementos foram considerados indicadores positivos e característicos para a solicitação de depósito de patente em função da proporção de resíduos aplicados e das pesquisas, publicações e trabalhos já averiguados.

1.3. DELIMITAÇÃO DO TEMA

A abordagem em relação ao tema consistiu na identificação dos resíduos e suas características físicas (ex. resistência à flexão) e químicas, foram estabelecidas as melhores formulações levando em conta os melhores resultados obtidos para identificar um produto conforme as normas brasileiras e

exigências ambientais em vigor no Brasil. Também foi realizada análise comparativa entre os diferentes produtos obtidos do processamento laboratorial. Isto permitiu elaborar uma análise crítica quanto à melhor formulação e temperatura adotadas em escala de laboratório, sempre tendo como premissa os aspectos técnicos e ambientais supracitados.

A pesquisa também identificou uma formulação adequada para aplicação em processo de produção, de forma a contribuir para a realização de um eventual ensaio futuro em escala industrial.

Não foi realizado ensaio industrial com a formulação desenvolvida em laboratório, pois existiam fatores que não corroboraram para a sua realização. Entre eles podem ser citados: o tempo disponível para a identificação de uma olaria com condições mínimas necessárias de equipamento e instalações para a execução do ensaio; o tempo disponível para a realização de ensaios na olaria e o limite de capacidade e disponibilidade de tempo do pesquisador em relação ao tema proposto.

Outros fatores que contribuíram para a não execução do ensaio industrial foram: o limite de tempo disponível para apresentação dos resultados práticos, poucos materiais de consulta disponíveis, assim como dados necessários para a compilação e comparação dos resultados obtidos, a necessidade de obtenção de licença para transporte de resíduos entre o gerador e a olaria, a quantidade de resíduos a transportar, local apropriado para alocação e segregação do lote de produção, custos logísticos do transporte do resíduo e a identificação de olaria que apresentasse condições/equipamentos mínimos necessários para realizar controles de processo e configuração dos parâmetros de processo.

Da mesma forma, também não foram elaboradas formulações considerando a junção de resíduos automobilísticos de diferentes origens, ou seja, o trabalho considerou apenas uma análise comparativa de resultados dos resíduos automobilísticos recebidos (sendo analisados por tipo de Indústria A e B).

Devido ao sigilo de informações, não serão mencionados os nomes das montadoras que disponibilizaram seus resíduos para análise.

Alguns fatores que motivaram o desenvolvimento da pesquisa foram:

- Importância do tema, a novidade associada à oportunidade de divulgação de novo trabalho e contribuição para o desenvolvimento dos valores acadêmicos, sociais e ecológicos;
- Dificuldade de aquisição de informações referentes ao assunto;
- Possibilidade de depósito de patente.

1.4. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O desenvolvimento do trabalho em questão foi elaborado de maneira a analisar aspectos teóricos e práticos, considerando uma revisão de bibliografias e publicações que apresentassem correlação e relevância com o tema proposto. A estruturação desse trabalho foi fundamentada na construção dos elementos de hipótese e o trabalho foi desenvolvido de maneira a avaliar uma diversidade de formulações estabelecidas inicialmente de modo a considerar uma abrangência considerável de composições que permitiram estabelecer elementos para a compreensão dos fatos ocorridos durante as fases de processamento e obtenção dos corpos de prova.

No capítulo “Revisão da Literatura” são apresentados os conceitos e consultas de trabalhos técnicos e pesquisas que foram desenvolvidos na área de minimização de resíduos relacionadas à incorporação dos mesmos em materiais cerâmicos, além de apresentar uma abordagem sobre os impactos ambientais quanto à destinação de resíduos industriais e o prejuízo causado ao meio ambiente quanto a exploração massiva de recursos naturais diante dos volumes de produção cada vez maiores. Pretendeu também apresentar um enfoque voltado à análise do ciclo de vida e ao desenvolvimento sustentável de produtos com o reaproveitamento de resíduos, de forma que o mesmo seja utilizado como componente de valor na fabricação de novos materiais.

A definição da pesquisa também se fundamentou pelo levantamento bibliográfico de modo a estabelecer o estado da arte do assunto por hora desenvolvido por meio de leitura reflexiva. Para tanto, a pesquisa foi

estruturada através de consultas a publicações, *papers* e trabalhos apresentados em congressos ou divulgados por meio de revistas e ou *sítes* que promovem a pesquisa ou a difusão de conhecimento técnico e científico, tanto em âmbito nacional quanto internacional. O levantamento bibliográfico fundamentou os conceitos, estabeleceu situações não exploradas e/ou que não foram levadas em consideração pelas publicações avaliadas e/ou delimitações ou conceitos já fundamentados de forma a consolidá-los pela apresentação do tema da respectiva tese.

Na apresentação do capítulo de Materiais e Métodos são apresentados os conceitos e fundamentações metodológicas aplicadas no desenvolvimento desta pesquisa. Da mesma forma, abordam os materiais e sua caracterização, equipamentos utilizados nas análises, assim como os métodos aplicados para a realização e o andamento da pesquisa desenvolvida.

No capítulo dos Resultados e Discussão, são apresentados e discutidos os resultados obtidos, explorando os conceitos, técnicas e procedimentos pesquisados frente aos resultados obtidos.

Por fim, é apresentada a conclusão do trabalho frente aos trabalhos e análises realizadas, bem como a relação de referências consultadas e utilizadas na elaboração deste trabalho.

No intuito de promover a continuidade da pesquisa assim como na identificação de outras possíveis linhas de pesquisa viáveis ou possíveis, ao final da tese são apresentados temas que podem contribuir para a continuidade do assunto em questão como sugestões de trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo foi realizada uma contextualização sobre o conceito de sustentabilidade, meio ambiente e da gestão de resíduos. Aspectos relacionados às normas da série ISO 14000 também foram sumariamente mencionados assim como as preconizações previstas em leis e regulamentações pertinentes e que foram estabelecidas pelos respectivos órgãos responsáveis pelas suas definições e que fazem um paralelo em relação ao campo de estudo da respectiva tese.

Também foi realizada uma breve abordagem sobre o processo de pintura da indústria automotiva no sentido de apresentar as principais etapas e os principais elementos que podem contribuir para a geração de resíduos. Na parte final deste capítulo, foi realizada abordagem sobre os diversos estudos (pesquisados e disponibilizados por meio de consultas a artigos científicos publicados) e o desenvolvimento de uma conscientização ambiental por parte de pesquisadores que desenvolveram e se dispuseram a difundir suas pesquisas para a aplicação de resíduos industriais como fonte de material de carga em componentes cerâmicos e/ou processos de fabricação de cerâmicas vermelhas.

2.1. SUSTENTABILIDADE E MEIO AMBIENTE

O conceito de sustentabilidade é derivado do debate sobre o desenvolvimento sustentável, cujo marco inicial foi a primeira Conferência Internacional das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano (*United Nations Conference on the Human Environment*), realizada em 1972 em Estocolmo. Ele trata do processo de manutenção do equilíbrio entre a capacidade do ambiente e as demandas por igualdade, prosperidade e qualidade de vida da população humana, visando o alcance da sustentabilidade (CIC, 2008).

Brüseke (1994) apresenta que o canadense Maurice Strong foi quem usou em 1973 pela primeira vez o conceito de eco desenvolvimento para caracterizar uma concepção alternativa de política do desenvolvimento. Cita também que Ignacy Sachs formulou os princípios básicos desta nova visão do desenvolvimento. Ela integrou basicamente seis aspectos, que deveriam guiar os caminhos do desenvolvimento:

- a) a satisfação das necessidades básicas;
- b) a solidariedade com as gerações futuras;
- c) a participação da população envolvida;
- d) a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente em geral;
- e) a elaboração de um sistema social garantindo emprego, segurança social e respeito a outras culturas, e
- f) programas de educação.

A sustentabilidade liga-se indubitavelmente ao meio ambiente e à sua preservação. Segundo Alves (2010) e Foladori (2002), sustentabilidade significa sobrevivência, entendida como a perenidade dos empreendimentos humanos e do planeta.

Por isso, o desenvolvimento sustentável implica planejar e executar ações, sejam elas de governos ou de empresas, sejam elas locais, nacionais ou globais – levando em conta, simultaneamente, as dimensões econômica, ambiental e social.

Ashby (2009) menciona que o meio ambiente e a sociedade compõem sistemas que coexistem e cointeragem entre si. Por vezes eles ocorrem de forma fraca e em outras de forma forte, e quando dois sistemas complexos interagem, as consequências são difíceis de prever. Capra (2002) comenta que os limites entre sistemas não são limites de separação, mas limites de identidade. Todos os sistemas vivos comunicam-se uns com os outros e partilham seus recursos, transpondo seus limites (redes dentro de redes).

Moreira *apud* Torres (2007) cita que preservação é uma estratégia de proteção dos recursos naturais que estabelece a manutenção de um determinado ecossistema, espécies ou área, sem qualquer ação ou

interferência que altere o *status quo*. Prevê ainda que os recursos sejam mantidos intocados, não permitindo ações de manejo.

Duvoisin *et al.*(2003) comentam que o desenvolvimento e progresso estão associados a uma visão de posse, de uso da natureza para o homem, o que tem gerado danos à natureza, a ponto de colocar em risco a própria sobrevivência do planeta e da espécie humana. Está insustentável continuar vivendo da forma exploratória e predatória como parte da humanidade está acostumada. Portanto, o grande desafio é encontrar o caminho de um desenvolvimento que continue atendendo às necessidades de conforto, alimento e de modernização do homem, sem que os recursos naturais sejam danificados (FANG *et al.*, 2001).

Cavalcanti (1994) comenta que na visão desenvolvimentista tradicional, a natureza se percebe como uma cornucópia fornecedora inexaurível de recursos e, ao mesmo tempo, como um esgoto de infinita capacidade de absorção de dejetos. Tal visão de um fluxo entre dois infinitos, o que implica que sua vazão possa crescer ilimitadamente é incompatível com o modelo dos ciclos de materiais do ecossistema regido pela bússola da homeostase e por predados frugais. A moderna sociedade industrial se caracteriza, por sua vez, por fluxos de sentido único, em que matéria e energia de baixa entropia se convertem continuamente em matéria e energia de alta entropia, não integrados nos ciclos materiais da natureza. Não se pode ter sustentabilidade dessa forma. Um modelo sustentável tem que se basear em fluxos que sejam fechados dentro da sociedade ou ajustados aos ciclos naturais.

Tristão (2004) também afirma que a sustentabilidade traz uma visão de desenvolvimento que supera o reducionismo, seja biológico ou físico: “a gestão ambiental está diretamente vinculada à participação, à pesquisa científica, ao senso comum, aos saberes acumulados, às sabedorias de vida e aos valores éticos, como estratégias fundamentais para promover a sustentabilidade das sociedades. O acesso à educação é condição *sine qua non* para efetivar a participação na vida do mundo contemporâneo em todos os níveis”.

O Capitalismo Natural apresentado por Lovins (2010) e pesquisadores também está repleto de exemplos impressionantes de como a eficiência do uso

de recursos pode aumentar. Os autores calculam que, se considerado esse grau de eficiência, poderíamos praticamente pôr termo à degradação da biosfera; e deixam claro que a ineficiência de hoje em dia quase sempre sai mais cara do que as medidas que seriam necessárias para invertê-la. Em outras palavras, o projeto ecológico é um bom negócio.

Muitas vezes, desenvolvimento é confundido com crescimento econômico, que depende do consumo crescente de energia e recursos naturais. Esse tipo de desenvolvimento tende a ser insustentável, pois leva ao esgotamento dos recursos naturais dos quais a humanidade depende. O desenvolvimento sustentável sugere qualidade em vez de quantidade, com a redução do uso de matérias-primas e produtos e o aumento da reutilização e da reciclagem (WWF, 2012).

Com a crescente globalização da economia, a importância que as corporações transnacionais dos países ricos assumiram e com o crescimento da liberalização do comércio entre as nações, levaram as propostas ambientais para uma tendência a adotar políticas de controle de emissões, denominadas comumente como “*end of pipe technologies*”, que passaram a ser consideradas como alternativas paliativas para resolução de problemas ambientais, conforme apresentam Foladori e Tommasino (2000).

A proposta de que a simples promulgação de leis protegerá a sociedade e o meio ambiente é uma ilusão. A economia mundial não se moverá para um desenvolvimento social e econômico sustentável se as 100 maiores empresas mundiais não abraçarem o conceito de sustentabilidade. Hoje as maiores corporações estão se aproximando do conceito de sustentabilidade, porém as iniciativas em que estão comprometidas são insuficientes para mudar o curso do desenvolvimento para as nações mais pobres do planeta (PAULI, 1996).

Stahel (1998) apresenta que a expressão desenvolvimento sustentável é um conceito polissêmico que pode servir para dar legitimidade à expansão insustentável do capitalismo. Naredo (1996) corrobora a ênfase de que ao buscar um desenvolvimento sustentável, se estaria, mesmo que implicitamente, pensando em uma sustentabilidade dentro do quadro do capitalismo de

mercado. Portanto, segundo sua interpretação, a noção de sustentabilidade formulada no informe de Brundtland (1991) é ambivalente e tem originado interpretações contrapostas de características ideológicas distintas.

As companhias hoje, e ainda mais no futuro, não tomarão suas decisões baseadas unicamente na rentabilidade. Uma companhia deve assegurar suas contribuições em termos de “valor agregado” que pode gerar para si própria, para seus acionistas e para a comunidade em que opera. A companhia é legítima somente quando agrega valor. E se os governos se abstiverem dos subsídios e da distorção da competência, então o mercado castigará aqueles que não forem capazes de responder aos anseios da comunidade e dos consumidores. (PAULI, 1996).

O “valor agregado” também se expressa no valor que representam as companhias para a sociedade, na criação e preservação de empregos, para os avanços tecnológicos e na inovação, para o projeto do desenvolvimento regional, para os valores sociais que agregam por sua contribuição à arte, e pela busca de um importante equilíbrio ecológico nos processos (PAULI, 1996).

2.2. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE VEÍCULOS

Para produzir veículos as montadoras estabelecem processos conforme apresentado resumidamente a seguir. Dentre as diversas funcionalidades que necessita desempenhar, o processo de pintura tem a função de proteção superficial contra corrosão, além do quesito beleza. No entanto, essas funções estão relacionadas diretamente com a aplicação de produtos químicos e por consequência e com o processo que tem maior geração de resíduos sólidos dentro da indústria automobilística, motivo pelo qual o processo da pintura será apresentado em detalhes. O interesse sobre o respectivo processo também se dá devido ao fato que os resíduos gerados na ETE industriais provêm praticamente do processo de pintura. Os próximos itens apresentam uma descrição sumária do que consiste o processo de fabricação

de veículo baseado na experiência profissional do autor deste trabalho, não constituindo referência bibliográfica que possa ser apresentada.

2.2.1. Processos de Estampagem e Armação/Soldagem

No processo industrial automobilístico, o termo carroceria consiste no resultado dos processos de encaixe, dobras (montagem de subcomponentes), soldagem e fixação de diversos componentes metálicos e/ou plásticos com geometrias específicas. Estes componentes podem apresentar tamanhos, origens e tratamentos superficiais diferentes. Um produto muito utilizado no processo que antecede a fabricação da carroceria diz respeito ao óleo protetivo aplicado aos *blanks*² metálicos. Nesse momento as chapas que são conformadas já apresentam o óleo protetivo, que é utilizado com o intuito de promover a separação de chapas no início do processo de estampagem, permitir uma boa conformação da chapa quando na prensa e assegurar e garantir a proteção superficial (não permitindo o desenvolvimento / ocorrência de oxidação) do produto pré-fabricado. No Departamento de Carroceria ou Armação, as chapas estampadas (de alumínio, aço zincado ou não) são manuseadas, montadas e soldadas (por meio de operações automáticas, robotizadas ou manualmente) e a esta associação de peças e operações dão forma a subcomponentes que constituirão, ao final desta etapa do processo, a estrutura armada ou a carroceria. A partir desse momento, o produto montado, está apto a ser direcionado ao próximo estágio do processo produtivo, que é a pintura.

2.2.2. Processo de Pintura

Nos itens a seguir será apresentado um breve resumo do processo de fabricação de uma estrutura armada/carroceria. Para tanto, serão utilizados sinóticos do processo de pintura, no intuito de melhor compreensão/sinalização em relação aos termos e etapas desse processo.

² *Blanks* – termo que se refere a uma chapa metálica pré-conformada com dimensional suficiente que permita introdução no processo de estamparia e que será utilizado para obtenção de um ou mais componentes ou peças

2.2.2.1. Desengraxe de Carrocerias

Toda carroceria que adentra ao processo de pintura apresenta diversos tipos de contaminantes dispersos por toda sua superfície e/ou cavidades. Dentre eles os principais contaminantes podem ser citados: resíduos graxos e oleosos (proveniente principalmente da etapa de conformação de chapas), resíduos provenientes dos processos de soldagem e pré-montagem de componentes (como por exemplo, limalhas de aço), resíduos de panos de limpeza e outros mais. Para promover uma limpeza adequada da carroceria, esta é direcionada para o processo de tratamento de superfície, que irá se encarregar de realizar o desengraxe ou a retirada de óleos, graxas e partículas (WIEMES e PAWLOWSKY, 2003). O desengraxe é um estágio do processo de Tratamento Superficial – TTS³, que constitui um banho com pH alcalino (variando na faixa de 10 a 12,5) que deve ser aplicado com temperatura específica (normalmente entre 35 a 45°C) e que apresenta grande poder de limpeza, promovendo a retirada dos contaminantes/resíduos superficiais. A limpeza promovida na superfície metálica depende fundamentalmente da concentração do banho, do tempo de duração da operação e da temperatura de trabalho (CHEMETALL, 2009).

A primeira operação é realizada por meio de jatos de pulverização de desengraxante direcionados sobre todas as partes externas da carroceria, e que apresenta uma forte ação mecânica para que as sujidades mais difíceis sejam removidas da superfície. Em seguida, são realizadas duas etapas de imersão, também em desengraxante alcalino, para realizar a limpeza de cavidades, partes internas e corpos ocos da carroceria ou regiões de difícil acesso aos produtos químicos (PPG, 2009).

Os produtos utilizados no desengraxe apresentam composição de uma base mineral e uma mistura de tensoativos/saponificantes, emulsificantes e sequestrantes de óleos e graxas. Sua composição é fundamentalmente constituída de hidróxidos de sódio/potássio, boro, zinco, fosfatos, silicatos, carbonatos e por fim antioxidantes e aditivos (PPG, 2009, CHEMETALL, 2009).

³ TTS – Sigla utilizada no meio automotivo para identificar a etapa de Tratamento de Superfície.

A próxima etapa do processo é o enxágue por imersão da carroceria, que é realizado com o intuito de remover sobras de desengraxante que possam restar presentes na superfície metálica. Por meio desse enxágue, a carroceria fica isenta de agentes de limpeza e está apta a avançar no processo.

2.2.2.2. Fosfatização

Para realizar a operação de fosfatização⁴, a carroceria deve receber inicialmente uma preparação inicial chamada de ativação química (por imersão) em produto denominado ativador, que é composto fundamentalmente por óxido de titânio. Desta forma, é possível que a deposição de fosfato ocorra de forma homogênea e direcionada (WIEMES e PAWLOWSKY, 2003).

O banho de fosfatização é uma solução aquosa diluída, contendo elementos anódicos e catódicos, que permite reagir com a superfície metálica para provocar a formação de cristais sobre essa superfície. Sua função atribui melhor aderência da pintura por meio da camada de fosfato depositada, bem como a resistência à corrosão do conjunto constituído pelo revestimento/camada de conversão/substrato (CHEMETALL, 2009).

Sankara Narayanan (1996) consideram uma arte a possibilidade de modificar as formulações da fosfatização através da correta incorporação de aditivos metálicos, como Ni^{2+} , Zn^{2+} e Mn^{2+} (fosfato tricatiônico) para produzir um revestimento que atenda às necessidades da pintura eletroforética. No processo de fosfatização ocorre o contato entre uma solução fosfatante (com pH entre 4 a 5) e uma superfície metálica, que permite aos cristais de fosfatos formados na superfície metálica, se desenvolverem nas 3 dimensões (eixos X, Y e Z) nos diversos pontos da referida superfície.

Fundamentados em um trabalho experimental, Ghali e Potvin (1972) propuseram quatro passos, que definem a formação das camadas de fosfato;

- 1) ataque eletroquímico pelo meio ácido do banho, ou seja, a reação de dissolução eletroquímica do metal e do óxido com o qual está coberto, em meio ácido. Estas reações podem ser aceleradas e melhoradas através de ações mecânicas e eletrolíticas, que podem ocasionar também uma

⁴ Fosfatização – Produto utilizado é o fosfato tricatiônico, contendo, Zn, Mn e Ni.

superfície ativa propícia à formação de óxidos. Para minimizar este efeito, a combinação de desoxidação e passivação são desejadas. Devido a estas propriedades de formação de filmes, os ácidos fosfóricos são os agentes antioxidantes mais indicados. O filme de passivação formado durante a fosfatização fornece uma proteção temporária contra a corrosão e prepara a superfície para uma camada de tinta (EROL e THOMING, 2005).

- 2) ocorre a precipitação extremamente fina de cristais de fosfato, através do ataque do metal que modifica o equilíbrio do banho de fosfatos na interface metal/solução, de tal modo que promove a precipitação massiva de fosfatos precipitados no estado amorfo.
- 3) Na cristalização verifica-se nítido aumento da quantidade dos principais constituintes da camada, que passa de fosfatos amorfos a cristalinos;
- 4) e por fim, os fosfatos da camada dissolvem-se e reprecipitam muito rapidamente, resultando uma reorganização cristalina, acompanhada por um rápido e significativo decréscimo de porosidade, a qual se torna inferior a um por cento.

2.2.2.3. Eletrodeposição Catódica (CATA⁵)

O processo de aplicação de eletrodeposição (processo galvânico) consiste em um ramo da indústria metal mecânica que se ocupa do tratamento e deposição de superfícies metálicas ou plásticas por meio de diversos materiais, entre eles, cádmio, cobre, níquel, estanho, cromo, zinco, entre outros, mediante processos eletrolíticos. Bohórquez (1997) cita os principais objetivos dos processos de galvanoplastia:

- Proteção contra a corrosão
- Embelezamento
- Aumento da durabilidade da superfície tratada
- Aumento de propriedades superficiais como: resistência, espessura, condutividade, lubrificação, capacidade de estampagem, outros.

⁵ CATA - Sigla utilizada no meio automotivo para identificar o processo de Eletrodeposição por Cataforese.

O processo de eletrodeposição catódica (CATA) é um processo de pintura por imersão. Devido sua complexidade é totalmente automatizado e se baseia no princípio de deslocamento de partículas carregadas sob ação de um campo elétrico e que oferece uma grande proteção anticorrosiva, resistência a deformações mecânicas (como teste de batida de pedra), dobramento e impacto (PONTE *et al.*, 2000).

A pintura pelo processo de cataforese consiste numa dispersão de resinas e pigmentos em meio aquoso, com uma participação de solvente orgânico (inferior a 4%) e mais três componentes que são a água desmineralizada, a resina catiônica e a pasta pigmentada. Ao final do processo de cataforese, há uma sequência de banhos com água ultrafiltrada, utilizados para remover excessos de cataforese, presentes na superfície das carrocerias (WIEMES e PAWLOWSKY, 2003).

O Sinótico Pintura TTS/CATA, apresentado na FIGURA 1 demonstra as principais etapas descritas anteriormente.

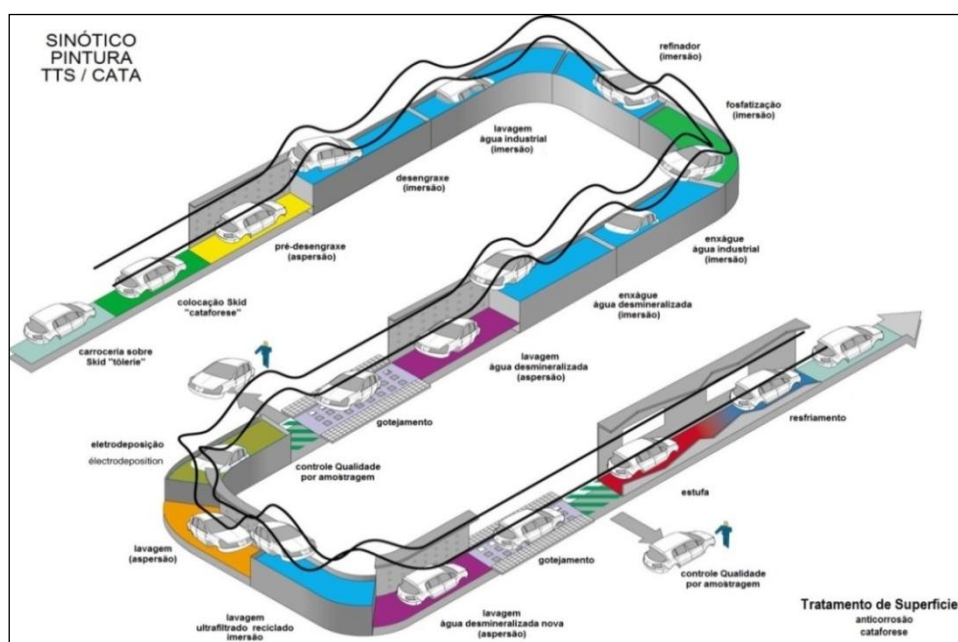


FIGURA 1 – SINÓTICO DA PINTURA DA ETAPA DE TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE (TTS), CATAFORESE (CATA) E ESTUFA
FONTE: RENAULT DO BRASIL (2009)

A partir desse momento, ocorre o gotejamento da carroceria, com o intuito de remover o excesso de líquido presente em cavidades ou partes

internas da carroceria. Esta ação é realizada pela movimentação/inclinação da carroceria no estágio anterior a entrada na estufa de cura da cataforese. Por fim, a carroceria é direcionada para estufa de cura onde permanece por cerca de 50 minutos para promover a cura a 165° C, da camada de cataforese depositada, e deve permanecer nesta temperatura por tempo mínimo de 15 minutos (CHEMETALL, 2009).

Os banhos do processo de TTS e CATA, são analisados periodicamente (mínimo uma vez a cada 8 horas de produção). Para monitoramentos automáticos, as reposições de produtos químicos ocorrem em função da programação dos parâmetros controlados e para análises rotineiras, as reposições são manuais, realizadas em função dos resultados obtidos nas respectivas análises. Os banhos do TTS são descartados semanalmente e os efluentes são direcionados para a ETE, onde recebem o tratamento devido para posterior lançamento nos corpos receptores, de acordo com as preconizações estabelecidas pelos órgãos ambientais (PPG, 2009).

Todo o material tratado na ETE Industrial é enviado para filtragem/aglomeração em filtro prensa, como apresentado na FIGURA 2. O líquido é separado da parte sólida e retorna para tratamento e o lodo obtido (massa compactada) é enviado para caçambas de coleta de resíduo, que é então direcionado para coprocessamento em fornos de cimento.



FIGURA 2 – EQUIPAMENTO FILTRO PRENSA LOCAL DE COLETA DO LODO INDUSTRIAL

2.2.2.4. Aplicação Massas Vedantes / Selantes (PVC)

Na sequência do processo de pintura, conforme apresentam Wiemes e Pawlowsky (2003), e como pode ser visto na FIGURA 3, ocorre a aplicação de

massa vedante (a base de PVC), obturadores e adesivos para garantir a estanqueidade contra entrada de água e poeira da carroceria. Estas operações são realizadas pela aplicação manual ou robotizada.

Os obturadores e adesivos são aplicados manualmente, simultaneamente ao processo de aplicação de massas vedantes. Essas operações são sumariamente apresentadas no Sinótico Pintura Selante “PVC”.

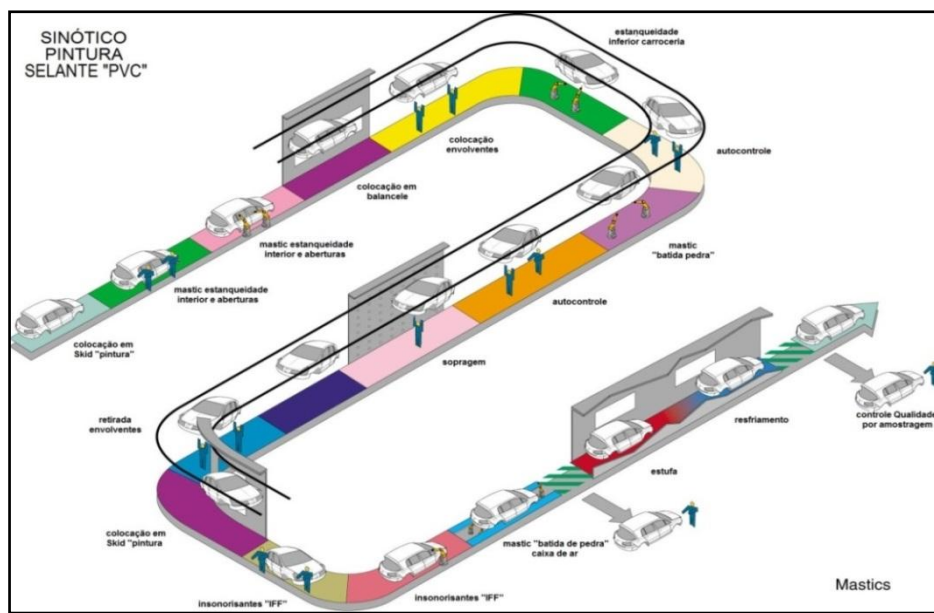


FIGURA 3 – SINÓTICO DA PINTURA DA ETAPA DE APLICAÇÃO DE SELANTE "PVC"

FONTE: RENAULT DO BRASIL (2009)

2.2.2.5. Aplicação *Primer*

Na FIGURA 4 é apresentado o “Sinótico Pintura *Primer*” que consiste na aplicação de material também denominado popularmente de “tinta de fundo”, preparando a carroceria para receber posteriormente a cor. Além dessa característica, o *primer* também atua como elemento nivelador de camada, preenchendo pequenas imperfeições, minimizando o efeito de casca de laranja⁶ no veículo, que protege a pintura de veículos contra agentes presentes na natureza (como dejetos de aves, altamente ácidos). Consiste de aplicação eletrostática e automatizada. Todos os parâmetros de aplicação são

⁶ Casca de Laranja – consiste no aspecto visual observado na pintura de um veículo, similar ao efeito observado na casca de uma laranja.

monitorados por CLP e possuem sistema de rastreabilidade que permite identificar os parâmetros de processo para cada veículo aplicado.

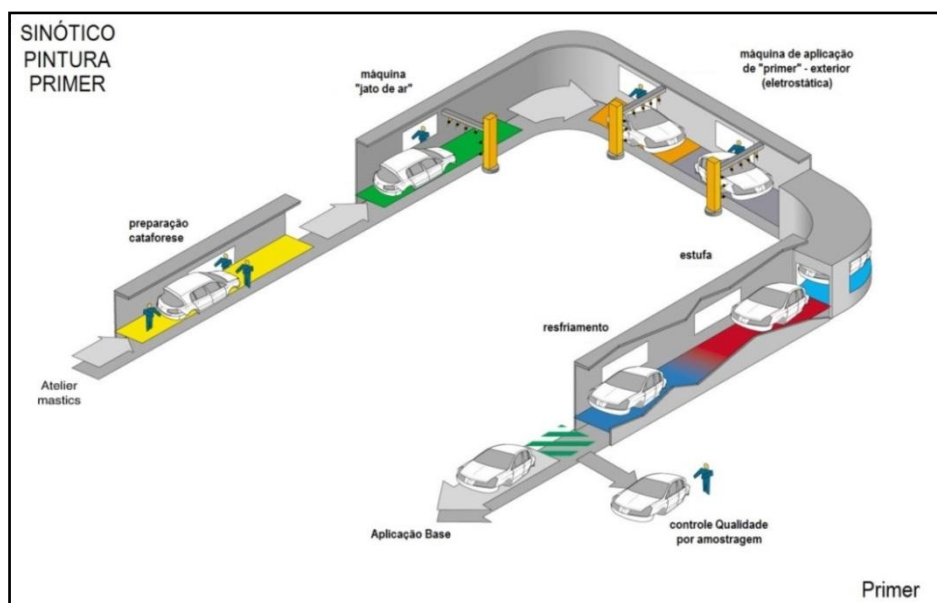


FIGURA 4 – SINÓTICO DA PINTURA DA ETAPA DE APLICAÇÃO DE PRIMER
FONTE: RENAULT DO BRASIL (2009)

Após a aplicação do *Primer*, a carroceria é direcionada para estufa de cura de *Primer*, e permanece por aproximadamente 40 minutos até a cura completa do *primer* (que ocorre a temperatura de 155° C, em permanência de 15 minutos). Em seguida esta carroceria é direcionada para a próxima etapa do processo que é justamente a aplicação de base e verniz (PPG, 2009).

2.2.2.6. Aplicação Base e Verniz

A aplicação de tinta (base cor do veículo) é realizada em todas as partes visíveis do veículo. Nas partes internas de portas, capo e tampa traseira, esta operação é manual. Na FIGURA 5 – Sinótico Pintura Base e Verniz abaixo estão apresentadas as operações do processo de aplicação de base e verniz.

Nas aplicações externas, esta operação é eletrostática e automatizada. O veículo passa por um processo de pré-secagem (a cerca de 80° C) da tinta aplicada e é direcionada até o processo de aplicação de verniz.

O veículo recebe aplicação de verniz em elementos internos visíveis (aplicação manual) e posteriormente é direcionada para aplicação automática em máquina eletrostática.

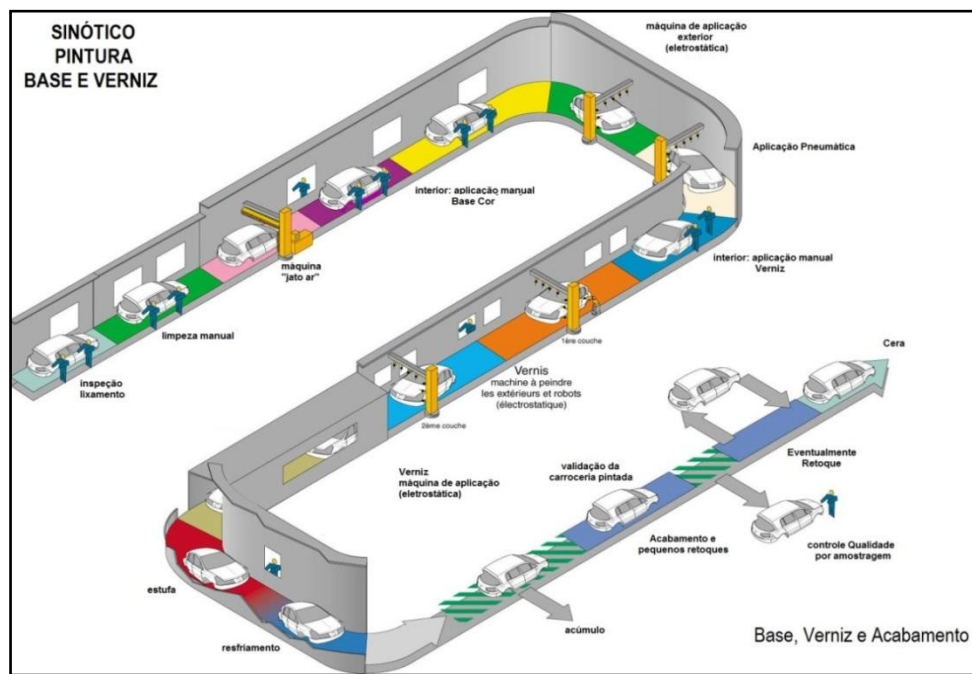


FIGURA 5 – SINÓTICO DA PINTURA DA PREPARAÇÃO E APLICAÇÃO DE BASE E VERNIZ
FONTE: RENAULT DO BRASIL (2009)

Após aplicação de verniz a carroceria é direcionada para estufa de verniz, e deve permanecer a temperatura de 145° C por 15 minutos, que promove a cura completa do verniz aplicado (PPG, 2009).

2.2.2.7. Aplicação de Cera

Por fim, é apresentado o Processo de Aplicação de Cera P3, como pode ser visto na FIGURA 6 – Sinótico Pintura – Cera. Este material tem a função de minimizar o efeito corrosão no veículo.

A cera é aplicada por meio de bicos de injeção específicos através de orifícios existentes na carroceria para preencher cavidades de difícil acesso. Ao final do processo, antes da carroceria pintada ser enviada para o Departamento de Montagem, são adicionados obturadores em furações que foram utilizadas para realizar operações no processo de pintura.

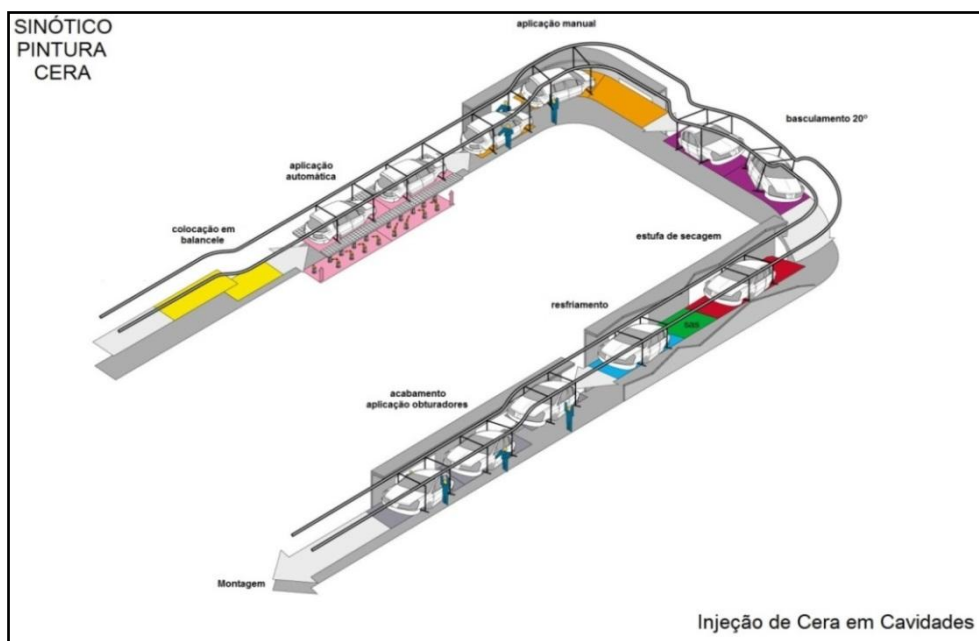


FIGURA 6 – SINÓTIPO DA PINTURA DA APLICAÇÃO E INJEÇÃO DE CERA EM CAVIDADES
 FONTE: RENAULT DO BRASIL (2009)

Após a abordagem apresentada anteriormente, segue-se o trabalho, direcionando-o a área de aplicação. Os resíduos, objeto desse estudo, consistem nos efluentes e descartes realizados na etapa preliminar do processo de pintura (desengraxe, fosfatização e cataforese). Os mesmos são direcionados para tratamento físico-químico separadamente dos demais resíduos do processo de pintura.

2.2.2.8. Processo de Montagem

É constituído de uma série de operações agrupadas/específicas de componentes e acessórios que são preconizados para obter um produto final (montado). Cada etapa é caracterizada por uma série de operações de pré-montagem que gradativa e ordenadamente são realizados para atribuir a forma que o cliente está habituado a identificar nas ruas das cidades.

2.3. SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

O aumento da população, associado aos crescentes níveis de produção, permite que os custos fabris sejam relativamente reduzidos (efeito

da produção em larga escala) e conseqüentemente ocorra maior facilidade na aquisição de bens e materiais. Atrelada a essa analogia, a facilidade na obtenção de crédito ou nas condições de compra/financiamento, assim como a melhora do poder aquisitivo e o despertar pelo desejo de compra dos novos produtos ou novas tecnologias promovem um efeito direto na relação oferta/demanda, proporcionando condições muito atrativas sobre o consumidor, contribuindo significativamente para o consumo desenfreado.

Como efeito direto de todo este processo, há uma maior exploração dos recursos minerais e reservas naturais por parte das indústrias e o resultado final consiste na produção crescente de produtos e conseqüentemente a geração de quantidades cada vez maiores de resíduos, tanto em escala doméstica, comercial, mas principalmente industrial.

Como apresentado por Senai (2002) o tratamento não adequado desta quantidade de resíduos pode acarretar um aumento significativo na degradação ambiental em detrimento da qualidade de vida. Segundo dados da Associação Brasileira de Tratamento de Resíduos – ABETRE, mais de 70% do lixo industrial acabam em lugares inapropriados, ou seja, “a maioria dos descartes industriais é feita de forma inadequada, misturada em lixões domésticos, sejam eles municipais ou clandestinos” (FURTADO, 2005).

A ECO/92, realizada no Rio de Janeiro, no ano de 1992 estabeleceu as principais diretrizes a serem consideradas para o futuro, o que culminou na elaboração do documento denominado Agenda 21, no qual é destacada a necessidade de se estabelecer mudanças dos padrões não sustentáveis de produção e consumo, e desenvolver ações consistentes sobre o gerenciamento dos resíduos sólidos, os quais estão concentrados em quatro itens fundamentais (Agenda 21, 2012):

- Reduzir ao mínimo a geração de resíduos;
- Aumentar ao máximo a reutilização e a reciclagem;
- Providenciar depósitos e tratamentos ambientalmente corretos; e
- Ampliar os serviços que se ocupam dos resíduos.

A Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, se reuniu em Johannesburgo, na África do Sul, de 26 de agosto a 4 de setembro de 2002, a qual atribuiu o nome de RIO+10 ao respectivo encontro. Neste, além dos itens anteriormente descritos, também foram discutidos novos elementos, a saber, conforme apresenta Diniz (2002):

- Água e o saneamento. Deve-se diminuir pela metade a proporção de pessoas sem acesso a saneamento e à água potável até 2015;
- Compromissos não quantitativos para que se aumente o acesso a serviços de energia modernos, à eficiência energética e ao uso de energia renovável e deve-se procurar reduzir os subsídios à energia;
- Espera-se que até 2020 os produtos químicos sejam utilizados e produzidos de forma a minimizar os prejuízos à saúde e que haja também cooperação para reduzir a poluição do ar.

Conforme apresentado pela ONU (2012), na RIO+20, realizada no Rio de Janeiro no ano de 2012 foram reiterados os compromissos anteriormente estabelecidos. Para realizar progresso significativo na direção da criação de economias verdes serão necessários novos investimentos, formação de novas habilidades, desenvolvimento, transferência e acesso a tecnologias, e fomentação de capacidade em todos os países, foram discutidos novos elementos:

- Oferecer fontes de financiamento novas, adicionais e ampliadas para países em desenvolvimento;
- O papel de instrumentos de financiamento inovadores para a criação de economias verdes;
- Eliminar gradualmente subsídios que exerçam efeitos consideravelmente negativos sobre o meio ambiente e sejam incompatíveis com o desenvolvimento sustentável, complementado com medidas para proteger grupos pobres e vulneráveis;
- Facilitar a pesquisa colaborativa internacional de tecnologias verdes envolvendo países em desenvolvimento, assegurando que as tecnologias

desenvolvidas desse modo continuem sendo de domínio público e estejam disponíveis para países em desenvolvimento a preços acessíveis;

- Encorajar a criação de Centros de Excelência como pontos nodais para P&D de tecnologia verde;
- Apoiar cientistas, engenheiros, instituições científicas e de engenharia de países em desenvolvimento para fomentar seus esforços no desenvolvimento de tecnologias verdes locais e usar o conhecimento tradicional;
- Estabelecer um esquema de desenvolvimento de capacidade para oferecer aconselhamentos específicos para cada país e, quando apropriado, aconselhamentos específicos para cada região e setor para todos os países interessados e auxiliá-los a acessar fundos disponíveis.

2.3.1. Desenvolvimento de Novos Produtos

Na conceituação do tema abordado pela NBR 14000 (ABNT, 2004), a poluição é caracterizada como uma ineficiência do processo produtivo e, conseqüentemente, como um desperdício de matéria prima. A mesma norma comenta que a adesão ao sistema de gestão ambiental deve ser estabelecida por cada empresa no sentido de promover a convergência dos interesses técnicos, econômicos e comerciais de modo a proporcionar redução na geração de poluentes. No entanto, essa adesão é estabelecida como voluntária.

Conforme apresentado na FIGURA 7, existem as entradas de insumos e matérias primas no processo produtivo e através de sua transformação, as saídas existentes são os produtos desejados (motivo do processo de transformação) e os subprodutos, resíduos/dejetos no final do processo.

A forte pressão internacional por produtos ecologicamente mais corretos, exercida pelo mercado onde cada empresa está inserida faz com que elas busquem estímulo para a obtenção da certificação ambiental. Como as questões ambientais transcendem as fronteiras geográficas e influenciam as relações de comércio internacional, as empresas interessadas em corresponder aos novos padrões globais de comércio foram as primeiras a

reconhecer a existência de um consumidor mais consciente e da nova realidade de proteção ambiental. Para tanto, essas empresas começaram se estruturar, visando reduzir as pressões ambientais negativas de seus produtos e processos.

A série ISO 14000 é um dos instrumentos que responde a esta demanda (CIMM, 2012).



FIGURA 7 – BALANÇO DE MASSA DE PROCESSO INDUSTRIAL CONSIDERANDO ENTRADA DE MATÉRIAS PRIMAS E INSUMOS, SUAS SAÍDAS E GERAÇÕES DE RESÍDUOS
FONTE: CIMM, 2012

Outra condição que começa a fazer parte do dia a dia das empresas é a necessidade de elaboração de programas ambientais para a obtenção de linhas de crédito disponibilizadas pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Sustentável (BNDES) ou pela entidade vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos).

2.3.2. Caracterização de Resíduos

O objetivo da NBR 10.004 (ABNT, 2004) – Resíduos Sólidos – Classificação, é de classificar os resíduos sólidos quanto a sua periculosidade, considerando seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente.

A caracterização de resíduos é uma etapa importante no processo de análise, pois conforme preconiza a NBR 10.004 (ABNT, 2004), permite classificar um resíduo sólido, bem como identificar se este deve ser qualificado

como perigoso por apresentar características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e/ou patogenicidade. Estas características devem nortear os cuidados no gerenciamento do resíduo sólido. Ainda, perante esta mesma regulamentação, a caracterização de um resíduo sólido depende de sua avaliação, qualitativa e quantitativa, devendo ser investigados os parâmetros que permitam a identificação de seus componentes principais e também a presença e/ou ausência de certos contaminantes. Portanto, a investigação de contaminantes é baseada no conhecimento de matérias primas e substâncias que participaram do processo que originou o resíduo sólido.

O estudo de alternativas para a utilização de um resíduo sólido não deve ser impedido em função da classificação por ele obtida. Porém, a classificação obtida deverá orientar os cuidados a serem demandados quanto ao gerenciamento de resíduos a aplicar, podendo inviabilizar sua utilização caso não seja possível garantir a segurança do trabalhador, ao consumidor final ou ao meio ambiente. Pode-se proceder com a utilização de um resíduo sólido ou misturas de resíduos sólidos no processo de fabricação de um novo produto ou para outros fins, porém faz-se necessário estar em conformidade com os requisitos estabelecidos pelos respectivos órgãos responsáveis pela liberação do produto.

A Lei 12.305, referente à Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), em seu Capítulo 2 Art 3 § VII atribui a seguinte definição para destinação final ambientalmente adequada:

Destinação de resíduos inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do SUASA, entre elas a disposição final, observando as normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos.

Dentre os objetivos estabelecidos pela PNRS (Lei 12.305, 2010) em seu Artigo 9º, estão preconizadas as seguintes tratativas que devem ser priorizadas: não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos

rejeitos. No entanto o que se observa é a configuração apresentada na FIGURA 8, em que a disposição é a prática mais adotada e a Não Geração é a menos.

Segundo Damien (2002) O termo rejeito traduz a ideia de se desfazer de um produto que alguém dispõe e que não tem mais utilidade. A saída que se procura é portanto de não assumir a responsabilidade e que se deseja esquecer. Esse mesmo autor comenta que o crescimento da população de uma parte, o desenvolvimento de técnicas agrícolas e industriais de produção se tornaram acessíveis a um grande número os produtos agrícolas e manufaturados de outra parte, tem por efeito a gerar quantidades de dejetos cada vez mais importantes. Os dejetos produzidos em pequenas quantidades que a natureza poderia degradar na origem, se transformaram em massas colossais que levou progressivamente a regulamentar tanto em nível de coleta quanto de tratamento.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, através da NBR 10.004:2004 definem resíduos sólidos como:

Resíduos no estado sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos água, ou exijam, para isto, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face de melhor tecnologia disponível.

Partindo dessa definição, os resíduos sólidos e semissólidos são classificados, segundo a mesma NBR, da seguinte forma:

- a) Resíduos Classe I – Perigosos;
- b) Resíduos Classe II A – Não Inertes;
- c) Resíduos Classe II B – Inertes.

Conforme apresentado por Pawlowsky (2002), a ordem de prioridade adotada no tratamento de resíduos é a Atitude Atual, pois as ações de Disposição e Tratamento são as mais comumente aplicadas e a Não Geração

é a menos aplicada. No entanto, a representação a direita da FIGURA 8 (Atitude a Ser Adotada) é que deveria ser mantida com maior frequência, sendo que as ações de Não Geração e Redução que deveriam prevalecer.

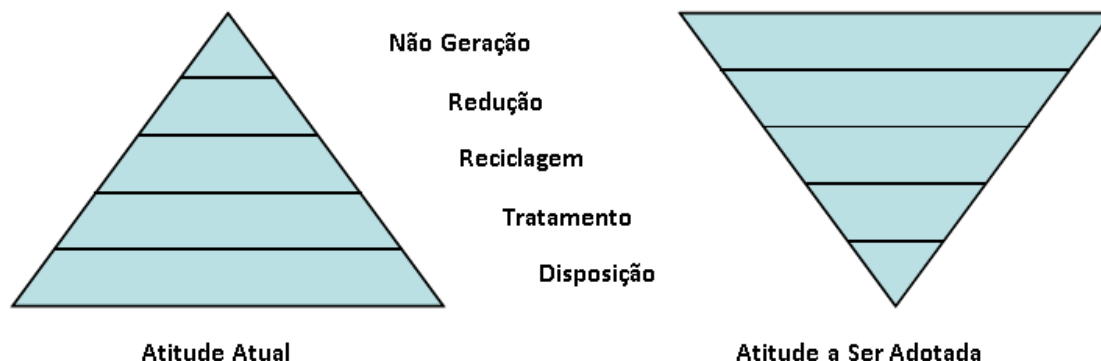


FIGURA 8 – ORDEM DE PRIORIDADE PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS COMPARANDO A ATITUDE ATUAL *VERSUS* A ATITUDE A SER ADOTADA

FONTE: PAWLOWSKY, 2002

Hammes (2004) *apud* Borgo (2005) menciona que “a busca por soluções técnicas para o destino do resíduo perigoso é constante e a elaboração de uma política abrangente, com a ampliação das responsabilidades na geração e gerenciamento do resíduo que leve em conta as múltiplas realidades para seu tratamento, deve ser enfatizada”.

Os elementos resultantes do processo de fabricação industrial são cinza, lodos, óleos, metais pesados, resíduos químicos, vidros, plásticos, orgânicos, entre outros. Esses resíduos podem ou não apresentar determinada periculosidade, porém dependem dos elementos presentes em sua constituição e das características apresentadas por cada um deles.

Conforme abordam Sisino e Oliveira (2000), o primeiro item a ser considerado no estabelecimento de um sistema de gestão de resíduos é a correta identificação dos resíduos gerados e seus efeitos potenciais no ambiente. De acordo com a Lei Federal nº 9.605/1998, o gerador receberá pesadas sanções pela disposição inadequada de seus resíduos, por isto ele é obrigado a dispor, tratar ou temporariamente estocar seus resíduos, até a destinação final eficiente.

Cabe ao Instituto Ambiental do Paraná - IAP, realizar, obrigatoriamente, o Inventário de Resíduos Sólidos Industriais no Estado, de acordo com o

estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) na Resolução nº 313/2002 e corroborado pela Lei Estadual nº 12.493/1999 e pelo Decreto Regulamentador nº 6.674/2002 (CURITIBA, 2003).

A PNRS no Art. 13 da Lei Federal 12.305/10 e a Resolução CONAMA 307/2002 estabelecem a classificação dos resíduos sólidos e define resíduos da construção civil como aqueles *“gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis”*. A coleta, tratamento e disposição final deste tipo de resíduo é um dos grandes problemas a serem enfrentados pelas cidades brasileiras, pois a sua geração está associada ao próprio ciclo de crescimento econômico brasileiro, que mantém a demanda da construção civil muito aquecida.

No Paraná, a Lei Estadual nº 12.493/99 (CURITIBA, 1998) estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios de gerenciamento de resíduos que estão sob a responsabilidade de seus geradores.

A preconização estabelecida na Resolução CONAMA 307/2002 para a classificação dos resíduos da construção civil são classificação:

- a) Classe A - resíduos reutilizáveis ou recicláveis;
- b) Classe B - resíduos recicláveis para outras destinações;
- c) Classe C - resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação;
- d) Classe D: resíduos perigosos oriundos do processo de construção civil.

2.3.3. ZERI – Zero Emission Research Initiative

O conceito chave do programa ZERI é a proposta de transformação dos processos de produção em cadeias produtivas não-poluentes. Os processos produtivos devem estimular o funcionamento da natureza na qual nada se perde, pois o resíduo do processo A é o insumo do processo B. Além disso, o ZERI apresenta sugestões de como e o que as organizações podem oferecer às sociedades para adaptá-las ao mundo moderno (ZERI, 2010).

São definidos como objetivos do conceito de Emissão Zero:

- a) Nenhum resíduo líquido, gasoso ou sólido;
- b) Todos os *inputs* são utilizados na produção; e
- c) Resíduo é utilizado por outras indústrias na criação de valor agregado.

O programa ZERI propôs uma metodologia de implantação baseada em cinco fases, conforme pode ser visto na TABELA 4 a seguir:

TABELA 1 – FASES DE IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA ZERI

| Fase | Descrição |
|------|--|
| 1 | Modelos de aproveitamento total ao utilizar a tabela de <i>input-output</i> . Refere-se à busca do rendimento total, para verificar se há possibilidades de usar completamente os produtos no processo de fabricação para que não produzam nenhum resíduo. |
| 2 | Busca criativa de valor agregado utilizando modelos de <i>output-input</i> . Se o princípio anterior não puder ser conseguido, então, passa-se à segunda fase, ou fase de análise da matriz “Produtos-Insumos”. Atenção para estabelecer tabelas de saída ou inventários detalhados de tudo o que resulta do processo de fabricação de produtos acabados, incluindo os resíduos, emissões e efluentes e o desperdício de energia. |
| 3 | Modelos de conglomerados industriais : A matriz Produto-Insumo oferece uma base para a identificação dos conglomerados industriais. Sobre a base do encadeamento de indústrias, as corporações necessitam estabelecer novas sociedades entre organizações que nunca antes tinham sido consideradas. |
| 4 | Identificação de avanços tecnológicos : Identificar possíveis avanços, para alcançar o sucesso. Ou seja, deve-se identificar e solucionar os gargalos tecnológicos. Por vezes, necessita-se fazer reengenharia dos processos e, em outras, descobrir novas tecnologias. Deve-se estabelecer programa de pesquisa para solucionar as falhas para que a organização possa traduzir as conclusões das matrizes “Produtos-Insumos” em redução de custos, vendas e estratégias competitivas e, integrar a sustentabilidade e preservar o ambiente natural. |
| 5 | Planejamento de políticas industriais : É o projeto de formulação de políticas. A maioria das legislações não leva em conta as oportunidades que decorrem das matrizes “Produtos-Insumos”. Em decorrência disso, o processo de formulação de políticas industriais deve ser repensado. |

FONTE: PAULI, (1998)

Pauli (1998) também apresenta um plano de ação baseado em 12 passos que, ajudariam a tornar o mundo melhor. Tal plano é exposto a seguir:

1. A indústria toma a iniciativa e empreende a reestruturação de seus processos de produção, transformando-os em cadeias produtivas ou conglomerados de indústrias com zero emissão;
2. A indústria percebe que a grande melhora da produtividade das matérias-primas é um avanço da redução de custos;
3. Os governos respondem instalando parques industriais com zero emissão, nos quais são combinados indústria, agricultura, construção e lazer. Os empregos e o lazer estarão onde estiverem as pessoas;
4. Os formuladores de políticas reconsideram a democracia e o estado de direito e deveres dos cidadãos, transformando-os em cidadãos da rede. Os computadores e as telecomunicações adaptam-se às pessoas; as pessoas não mais precisam adaptar-se às tecnologias;
5. As universidades empreendem um grande programa para transformar seus programas unidimensionais em enfoques interdisciplinares, que funcionam por meio de redes utiliza todos os sentidos, conduzido pela imagem visual, não unicamente pelo texto;
7. Os jovens e os inquietos são convocados para utilizar o maior e o mais inexplorado recurso da sociedade: a criatividade;
8. As forças militares convertem-se em vigias do ambiente natural e protegem o que resta;
9. Pede-se aos pais e às mães que criem o melhor para seus filhos e que aceitem que seu futuro não será parecido com o que eles pensaram que o mundo seria;
10. A diversidade é a base para a sociedade do Século XXI. A sociedade é um buquê de flores, assim, existirá unidade na diversidade, colocando fim a uma era de fusão indiscriminada e desordenada de culturas;
11. Uma nova ética empresarial conduzirá a responsabilidade corporativa na sociedade;
12. A gerência inspirará suas operações na compreensão da imunologia.

Os governos tem demonstrado serem incapazes de aprovar leis aderentes ao momento adequado. Tem-se, entretanto hoje, boas notícias. Em

muitos casos as companhias não podem contentar-se em satisfazer padrões legais de hoje ou de amanhã. As empresas devem exceder com ampla margem as restrições impostas por estas leis para evitar que sejam tomadas de surpresa por uma mudança ou enfoque científico novo, o que resultaria num sério problema (PAULI, 1996).

2.3.4. Produção Mais Limpa – P+L⁷

A Produção mais Limpa se caracteriza por ações de estratégias ambientais que são implantadas com o objetivo de tornar um processo produtivo mais eficiente no emprego de seus insumos, gerando mais produtos e menos resíduos.

O princípio básico da metodologia de Produção mais Limpa (P+L) é eliminar a poluição durante o processo de produção, não no final. A razão de sua aplicação está no fato de que todos os resíduos que a empresa gera custaram-lhe dinheiro, pois foram adquiridos a preço de matéria-prima e consumiram insumos como água, energia, entre outros. Uma vez gerados, continuam a consumir dinheiro, seja sob a forma de gastos de tratamento e armazenamento, seja sob a forma de multas pela falta desses cuidados, ou ainda pelos danos à imagem e à reputação da empresa. (SENAI, 2003).

Borgo (2005) comenta que a expressão Prevenção à Poluição é amplamente utilizada na América do Norte pela USEPA e em outras partes do mundo, como pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (United Nations Environment Program – UNEP), usa-se Produção Mais Limpa. Porém, o conceito de ambas as expressões são similares e se resume em: redução na fonte – prevenindo ou reduzindo resíduo onde eles têm origem – dentro do processo produtivo ao invés de trata-los após terem sido gerados.

Isso inclui práticas que conservem recursos naturais pela redução ou eliminação de poluentes através do uso mais eficiente de matérias primas, energia, água e solo para aumentar a eficiência de produção e reduzir os riscos para o ser humano e o ambiente.

A abordagem da P+L como prática de ecoeficiência é, sobretudo, um exemplo de responsabilidade social corporativa e de sustentabilidade (SENAI,

⁷ P+L – sigla utilizada para denominar a metodologia voltada a Produção Mais Limpa.

2003). Na FIGURA 9 é apresentada a lógica, que privilegia as soluções voltadas para a preservação e minimização, sugerindo que as ações sejam tomadas na fonte geradora (Foco no Processo), buscando alternativas para o desenvolvimento de um processo eco-eficiente, resultando na não geração dos resíduos, redução ou reciclagem interna e externa.



FIGURA 9 – EVOLUÇÃO DE EMPRESAS RUMO À PRODUÇÃO MAIS LIMPA CONSIDERANDO DIFERENTES FOCOS
FONTE: SENAI (2003)

Nela são apresentadas duas situações distintas, sendo a primeira parte considerada uma atitude de Reação, na qual o foco está voltado aos resíduos. Neste caso a empresa se preocupa unicamente em atender aos requisitos legais e/ou outros requisitos. Com uma atitude de Prevenção, o foco de atuação fica direcionado principalmente ao ambiente fabril no sentido de desenvolver ações fundamentadas na operação e nos processos, fortalecendo/consolidando a atitude de Prevenção e atribuindo foco no ciclo de vida, as ações ficam voltadas ao desenvolvimento tecnológico e a modificação de produto.

Técnicas de mitigação de riscos ou de tratamento e destinação com maior valor agregado aos resíduos industriais corroboram para a difusão e disseminação de ações que permitem atribuir usos mais nobres. Dentre essas técnicas, são citadas a produção mais limpa (P+L) e a prevenção à poluição (P2) ou minimização de resíduos.

De acordo com as causas de geração de resíduos, o fluxograma apresentado na FIGURA 10, são possíveis modificações em vários níveis de atuação e aplicações de estratégias visando ações de Produção mais Limpa.

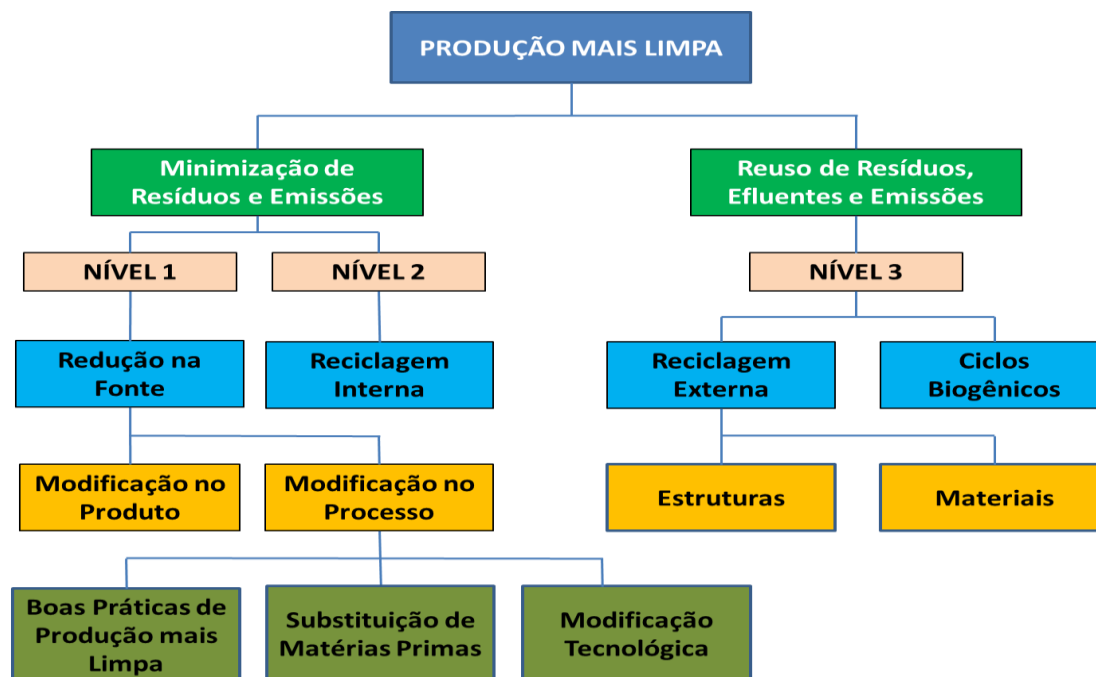


FIGURA 10 – FLUXOGRAMA DA GERAÇÃO DE OPÇÕES DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA
FONTE: SENAI (2003)

A substituição de matéria prima por um resíduo industrial é considerada como uma inovação, pois permite modificar a estrutura de um produto. No entanto, a mesma deve ser bem avaliada e estudada para considerar a comparação frente à legislação pertinente para estabelecer condições mínimas necessárias para a utilização em conformidade com as exigências legais.

A P+L foi definida em um seminário realizado pelo PNUMA em 1990, como uma abordagem de proteção ambiental ampla que considera todas as fases do processo de manufatura ou ciclo de vida do produto, com o objetivo de prevenir e minimizar os riscos para os seres humanos e o ambiente a curto e longo prazo (BARBIERI, 2007).

A prioridade a ser adotada deve ser atribuída a medidas que busquem eliminar ou minimizar resíduos, efluentes e emissões tanto no processo produtivo onde são gerados como no próprio produto, ou seja, deve-se atribuir prioridade as ações do Nível 1, apresentado nesse fluxograma (SENAI, 2003).

Apesar de prioritários, seu grau de implantação pode ser mais difícil de concretizar quando comparado aos Níveis 2 e 3.

2.3.4.1. Minimização de Resíduos / Prevenção a Poluição (P2)

O desenvolvimento de processos menos poluentes traz consigo várias vantagens, dentre as quais podem ser citadas a redução na geração de resíduos, menores impactos causados no meio ambiente, maior facilidade na obtenção de linhas de crédito junto a bancos e entidades afins, melhoria da imagem da empresa perante as entidades fiscalizadoras e a redução de custos de manufatura do produto fabricado. Isto contribui para que as organizações desenvolvam ações de caráter preventivo (WIEMES e PAWLOWSKY, 2009)

Leite e Pawlowsky (2005) comentam que em face ao progressivo aumento nos custos de disposição adequada e o baixo desempenho ambiental das medidas adotadas com relação aos resíduos industriais, as indústrias têm direcionado seus esforços para o desenvolvimento e soluções mais efetivas.

Dentre elas encontram-se a minimização de resíduos, um conjunto de medidas que visa antes de tudo a redução máxima da quantidade de resíduos gerada pelos processos industriais. Pawlowsky (2002) também comenta que nenhum processo consegue operar com eficiência de 100%, sempre ocorre a geração de resíduos, condição *sine qua non* do processo de transformação.

Diz Valle (2000) que “a minimização de resíduos é a metodologia que objetiva reduzir a geração de resíduos em uma instalação através de ações de cunho técnico e gerencial. Essa minimização tanto pode ser alcançada na fonte, evitando-se a formação do resíduo em sua origem, como através de técnicas de reciclagem e de reaproveitamento interno, impedindo que o resíduo chegue a ser lançado no meio ambiente”.

O reaproveitamento ou a reciclagem de resíduos sólidos tem como objetivo a utilização completa de matérias-primas e a minimização do problema da poluição e do tratamento dos despejos (PAWLOWSKY, 1983 e 2002). Segundo Borgo (2005) e Solyon (2009), o reaproveitamento de resíduos sólidos industriais para a fabricação de produtos para a construção civil é uma

opção que tem sido estudada por diversos pesquisadores no Brasil e no mundo.

2.3.4.2. Resíduos como Matéria-Prima

Para instaurar uma política e uma gestão racional de gestão de resíduos, é indispensável dispor de dados precisos sobre o volume e sua composição. Assim, a gestão de resíduos se ocupa de sua reutilização como matéria prima, colocação em descarte controlado, bem como as operações preliminares de remoção, transporte, estocagem intermediária e tratamento (KOLLER, 2004). O mesmo autor afirma que a maior parte dos resíduos não podem ser eliminados no mesmo local onde são gerados, sendo necessário transportá-los para um local de tratamento..

De acordo com o item 1 do artigo 5º da Diretiva 2008/98/CE da Comunidade Europeia (2008), resíduos específicos deixam de ser resíduos na acepção do ponto 1 do artigo 3º caso tenham sido submetidos a uma operação de valorização, incluindo a reciclagem, e satisfaçam critérios específicos, conforme apresentado a seguir:

- a) Existir a certeza de posterior utilização da substância ou objecto;
- b) A substância ou objeto pode ser utilizado diretamente, sem qualquer outro processamento que não seja o da prática industrial normal;
- c) A substância ou objeto ser produzido como parte integrante de um processo de produção; e
- d) A posterior utilização ser legítima, isto é, a substância ou objeto satisfazer todos os requisitos relevantes do produto em matéria ambiental e de proteção da saúde para a utilização específica e não acarretar impactos globalmente adversos do ponto de vista ambiental ou da saúde humana.

Koller (2004) afirma que a valorização consiste em todo tipo de tratamento de resíduos que permite de identificar uma utilização com um valor econômico positivo (Valor de mercado). O autor menciona que todos os tipos de valorização de resíduos contribuem para conservar os recursos e sua valorização ocorre em função da operação que o justifique, sendo ecológica e

economicamente aceitável. Portanto, a base da gestão de resíduos consiste de assegurar sua eliminação, de reduzir sua produção, mas também de valorizar.

A política ambiental europeia define como hierarquia da gestão de resíduos:

- a) Prevenção/ minimização;
- b) Reciclagem/ valorização material;
- c) Recuperação de energia/ valorização energética;
- d) Eliminação segura.

Segundo Barbieri (2007), a P2 é uma abordagem através da qual a empresa procura atuar sobre os produtos e processos produtivos para prevenir a geração de poluição, empreendendo ações com vistas a uma produção mais eficiente, portanto, poupadora de materiais e energia em diferentes fases do processo de produção e comercialização.

Em um contexto estratégico, e considerando uma abordagem em que os problemas ambientais são tratados como tal, a empresa deve aproveitar oportunidades mercadológicas e neutralizar ameaças decorrentes de questões ambientais. Da mesma forma, a importância estratégica também é levada a cabo à medida que aumenta o interesse tanto da opinião pública como dos grupos que detém interesses sobre as questões ambientais. Além disso, o crescimento do contingente de consumidores que preferem comprar produtos e serviços que respeitem a natureza é outro fator que impulsiona o tratamento estratégico ambiental (BARBIERI, 2007).

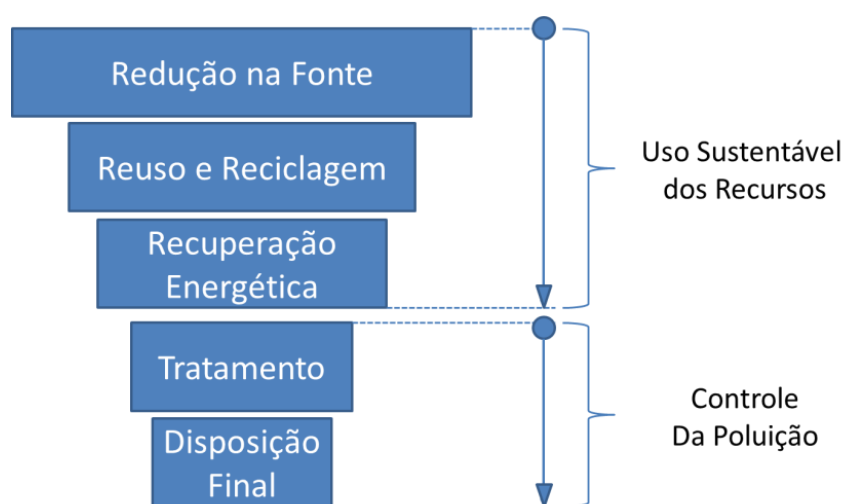
Conforme apresenta USEPA (2013), para promover melhor foco nos benefícios, coordenadores ambientais estão mostrando como a P2 está melhorando outras iniciativas gerenciais fazendo sua ligação com o *core business* da organização. Algumas das principais categorias de benefícios podem ser observadas a seguir.

- Redução dos custos operacionais
- Melhoria da segurança do trabalhador
- Redução dos custos de conformidade
- Aumento da produtividade

- Maior proteção do meio ambiente
- Exposição reduzida aos custos futuros de responsabilidade
- Melhoria contínua
- Conservação de recursos naturais
- Imagem pública melhorada

Segundo apresenta Barbieri (2007) a P2 combina duas preocupações ambientais básicas: uso sustentável dos recursos e controle da poluição. Os instrumentos típicos para o uso sustentável dos recursos podem ser sintetizados pelas atividades conhecidas como 4Rs: redução da poluição na fonte, reuso, reciclagem e recuperação energética, seguindo essa ordem de prioridade, como pode ser visto na FIGURA 11.

Reduzir é sempre a primeira opção, independentemente das quantidades e características dos poluentes, pois significa diminuir o peso, o volume dos resíduos gerados, bem como modificar suas características. Para tanto, talvez seja necessário reprojetar os produtos para adequar suas dimensões e características físico-químicas. Reusar internamente significa utilizar os resíduos da mesma forma que foram produzidos no próprio estabelecimento que os gerou.



Fonte: Barbieri, 2007.

FIGURA 11 – PRIORIZAÇÃO ADOTADA NA PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO

No entanto, não pode haver prejuízo para a qualidade dos produtos que serão transportados. Já a reciclagem interna é o tratamento dos resíduos para torna-los novamente aproveitáveis na própria fonte produtora.

Pela reciclagem externa, os resíduos de uma unidade produtiva são utilizados em outras. Embora benéfica ao meio ambiente na medida em que reduzem as necessidades de matérias primas originais, a reciclagem também gera problemas ambientais, pois os seus processos requerem energia e outros materiais e/ou insumos. Para o processo de reciclagem externa também há a necessidade de acondicionamento e estocagem dos resíduos em locais adequados, até formar quantidade significativa que justifique seu transporte até o estabelecimento reciclador. Para resíduos perigosos, há necessidade de preparação adequada de área, dispositivos de segurança, sinalizações e outros demandados por entidades ambientais.

Outra alternativa adotada, é o reaproveitamento calorífico para geração de energia dos mesmos. Por fim, os resíduos que não dispõem de possibilidade de aproveitamento devem ser o mínimo possível e que sua disposição final seja feita com segurança e sempre, segregando-os pelos seus elementos constitutivos (BARBIERI, 2007).

Considerando os resíduos gerados atualmente no processo de pintura, a técnica atual utilizada para gestão dos resíduos gerados é o coprocessamento em fornos de cimento.

2.3.4.3. Reciclagem e Valorização de Resíduos

A reciclagem de resíduos e sua reciclagem e/ou reutilização se tornaram práticas bem aceitas em muitos setores industriais. O controle da poluição se tornou um negócio muito rentável em vários países. Indústrias muito poluentes, como as de ferro e aço, de fabricação de produtos químicos e de geração de energia, por exemplo, foram aquelas que mais contribuíram para a implantação de equipamentos antipoluição, desintoxicação, tratamentos de resíduos, instrumentos de mensuração e sistemas de monitoramento.

Tais empresas não se tornaram apenas mais eficientes e competitivas, como também muitas delas descobriram novas possibilidades para investimentos, vendas e exportações. Por meio dessas ações se espera que

em quase todos países industrializados, haja um mercado cada vez maior para os sistemas, equipamentos e serviços de controle da poluição (CMMAD,1991).

Ainda no âmbito do gerenciamento e buscando soluções menos agressivas ao meio ambiente, muitos pesquisadores estudam maneiras de trabalhar com os resíduos, aplicando ou desenvolvendo técnicas para proporcionar a inertização, reutilização, disposição ou até mesmo desenvolvimento de novos materiais a partir de resíduos. Esta preocupação também rege as diretrizes, que orientam a comunidade europeia, a respeito do gerenciamento do resíduo sólido, dando maior importância ao desenvolvimento de tecnologias dirigidas para a reciclagem e ao reuso.

Alta prioridade também é dada à recuperação de matérias primas e energia dos resíduos. Porém, estas exigências nem sempre podem ser satisfeitas devido aos altos custos das tecnologias apropriadas e disponíveis (CIOFFI *et al.*, 2002).

A substituição de matéria prima tem como intuito a preservação de recursos naturais e a incorporação de resíduos de um processo permite modificar a estrutura de um produto. No entanto, o mesmo deve ser bem avaliado e estudado para considerar a legislação pertinente de modo a estabelecer condições mínimas necessárias para uso e/ou utilização (em conformidade com as exigências legais).

Vasconcellos (2005) comenta que a paralisia de paradigma pode conduzir a não ver as oportunidades positivas que se encontram à nossa volta. Para reconhecê-las e usufruir delas, é necessário ser flexível e disposto a visões diferentes daquelas a que se está acostumado.

Quando da realização da pesquisa no site da ONG WWF Brasil (2012), disponível na internet, foi observado o seguinte comentário: Muitas vezes, desenvolvimento é confundido com crescimento econômico, que depende do consumo crescente de energia e recursos naturais. Esse tipo de desenvolvimento tende a ser insustentável, pois leva ao esgotamento dos recursos naturais do qual a humanidade depende.

Atividades econômicas podem ser encorajadas em detrimento da base de recursos naturais dos países. Desses recursos depende não só a existência

humana e a diversidade biológica, como o próprio crescimento econômico. O desenvolvimento sustentável sugere a qualidade em vez de quantidade, com a redução do uso de matérias-primas e produtos e o aumento da reutilização e da reciclagem.

Leite e Pawlowsky (2005) comentam que em face ao progressivo aumento nos custos de disposição adequada e o baixo desempenho ambiental das medidas adotadas com relação aos resíduos industriais, as indústrias têm direcionado seus esforços para o desenvolvimento e soluções mais efetivas. Dentre elas encontra-se a minimização de resíduos, um conjunto de medidas que visa antes de tudo a redução máxima da quantidade de resíduos gerada pelos processos industriais.

2.3.5. Sinterização

Sinterização pode ser definida como um processo físico, termicamente ativado, que faz com que um conjunto de partículas de determinado material, inicialmente em contato mútuo, adquira resistência mecânica. Sua força motora é o decréscimo da energia superficial livre do conjunto de partículas, conseguido pela diminuição da superfície total do sistema. Em muitas ocasiões, isto traz como consequência a eliminação do espaço vazio existente entre as partículas, resultando em um corpo rígido e completo ou parcialmente denso (BRITO *et al.*, 2007 e STARLING, 2012).

Muitas vezes as partículas em contato podem ser até milimétricas. Mas se a temperatura do ambiente ultrapassar o ponto de fusão de algumas partículas irá ocorrer a sinterização pela formação de uma fase líquida. Em ambas as situações para que a sinterização ocorra é necessário que o sistema de partículas esteja o mais empacotado possível e que os vazios existentes entre elas sejam também, no máximo, micrométricos (CARDOSO e TOLENTINO, 2013).

A presença de uma fase líquida capaz de dissolver algumas partículas sólidas produz um caminho de transporte que utiliza o sistema de poros abertos e os contornos de grão. Se a viscosidade da fase líquida é adequada e o líquido molha a fase sólida, ele penetrará nos contatos entre as partículas e

produzirá o rearranjo das partículas, contribuindo para a densificação do corpo que está sinterizando. As cerâmicas tradicionais sinterizam com fase líquida, como é o caso das porcelanas e da maioria das cerâmicas tradicionais. Uma fase vítrea "cola" as partículas. Quando o corpo resfria, esta fase líquida solidifica-se como fase vítrea que une o conjunto das partículas que compõem a peça sinterizada (RICHERSON, 1982).

A sinterização é utilizada para fabricação de peças metálicas, cerâmicas e compósitos metal-cerâmica, sendo parte integrante e principal de técnicas denominadas metalurgia do pó e cerâmica, que se incumbem justamente da fabricação de produtos metálicos e cerâmicos a partir dos pós dos constituintes (SILVA e ALVES JUNIOR, 1998). Esse aquecimento, chamado sinterização, normalmente confere à massa de pó aglomerada as propriedades físicas e mecânicas desejadas (BRITO *et al.*, 2007).

Olevsky (1998) apresenta que o mecanismo de sinterização foi definido com base em modelos nos quais o conceito de organização consideram a dimensão discreta das partículas. Isto significa que o material que se obtém é resultado do processo de adesão entre partículas que tem seu crescimento favorecido pelo contato e coalescência entre elas. Logo, a interação que ocorre entre as partículas é estabelecida unicamente como interações cinéticas locais.

Araújo (1997) afirma que o processo de sinterização ocorre sob condições nas quais não é possível ocorrer fusão ou em que é impedida a fluidização de toda a camada devido ao curto período que a temperatura de fusão é atingida. Em adição, o fortalecimento das ligações entre as partículas promove um processo de difusão na fase sólida, ou colagem através do amolecimento superficial, fusão parcial e formação de escória.

Brito *et al.* (2007) comentam que a análise destes resultados deve considerar os fatores que concorrem para a densificação do corpo cerâmico durante a etapa de queima. Muitos fenômenos, independentes entre si, atuam na massa cerâmica durante a queima, concorrendo para os processos de i) sinterização em estado sólido; e ii) sinterização via fase vítrea.

2.3.6. Vitrificação

Dentre as técnicas de incorporação de resíduos em estudo atualmente, a vitrificação tem despertado interesse considerável por parte de diversos pesquisadores. Conforme apresentam Silva e Mello-Castanho (2004) e Castanho (2005), o processo de vitrificação, simula a formação dos vidros naturais, tais como as rochas vítreas vulcânicas, que mesmo contendo elementos tóxicos, são basicamente materiais inertes. Esta tecnologia é aplicada para o processamento de rejeitos radioativos, e estudada para inertização de diversos tipos de resíduos (Kim *et al.*, 2005).

Os processos de vitrificação e de reciclagem de resíduos industriais são processos combinados que podem representar uma solução viável para o impacto ambiental de várias atividades industriais e abre oportunidades para atribuir valorização aos resíduos (Pisciella *et al.*, 2000).

O processo de vitrificação e sinterização em presença de uma fase líquida viscosa é o processo mais geral e que, de forma mais significativa, contribui para reduzir a porosidade na queima dos produtos cerâmicos, tradicionais (vidro, porcelanas, entre outros). Na queima destes produtos tem lugar à formação de um vidro viscoso que rodeia as partículas mais refratárias, e que baixa as forças de tensão superficial criada pelos finos poros da peça, tendendo a aproximar as partículas, aumentando a contração e reduzindo a porosidade do produto. Para uma queima satisfatória a quantidade e viscosidade da fase vítrea deve ser tal que permita uma densificação apropriada com um ciclo de queima razoável (tempo e temperatura mais baixos possíveis) sem que se produzam deformações na peça (HRMA, 1994).

A vitrificação é o termo usado para descrever a sinterização em presença de fase líquida onde a densificação se alcança pelo fluxo viscoso de uma quantidade suficiente de fase líquida para preencher os espaços ocupados por outros poros entre os grãos sólidos (USEPA, 1992).

A força motriz para a vitrificação é a redução de energia interfacial vapor-sólido devido ao fluxo de fase líquida para cobrir as superfícies sólidas. A vitrificação é o método comum de queima para a cerâmica tradicional a base

de argila, também chamados de sistemas de silicato (CARDOSO e TOLENTINO, 2013).

Os métodos de reciclagem ou de disposição final dos resíduos sólidos industriais devem garantir que o material originado não apresente riscos ao meio ambiente. Para este fim existem tratamentos que podem alterar as características, a composição química e as propriedades dos resíduos. Obrador apud Xu *et al.* (2007) comentam que a técnica de solidificação / estabilização é um processo utilizado para tratamento de resíduos inorgânicos e orgânicos em que o material residual é misturado com vários outros meios no sentido de obter um novo produto com características melhoradas.

Silva *et al.* (2004), comentam que a vitrificação é uma alternativa interessante para diminuir ou eliminar a periculosidade dos resíduos sólidos galvânicos, pois permite incorporá-los em matrizes quimicamente inertes. Em adição, há sempre a possibilidade do material resultante, ser utilizado como matéria-prima na fabricação de bens de consumo, tornando este processo atrativo sob o ponto de vista econômico.

Conforme comenta Mendonça (2007) na inertização/estabilização e solidificação de resíduos os mecanismos químicos e físicos envolvidos podem abranger:

- (i) macro encapsulação;
- (ii) micro encapsulação;
- (iii) adsorção;
- (iv) absorção;
- (v) precipitação;
- (vi) redução da toxicidade do resíduo.

Os mecanismos (i) e (ii) são os mais comuns nos processos de ceramização ou vitrificação. As velocidades relativas e absolutas destes dois processos (contração e deformação) determinam em grande extensão a temperatura e as composições que devem ser utilizadas na fabricação destes produtos.

Conforme apresenta Erol *et al.* (2007), uma composição inicial e as condições de tratamento térmico são os parâmetros mais importantes que afeta o tipo de fases cristalinas ocorridas no vidro-cerâmica e as propriedades finais

dos materiais. Vitrocerâmicos que possuam propriedades desejáveis para satisfazer muitas aplicações pode ser produzido a partir de materiais de resíduos através da aplicação de tratamentos térmicos adequados.

A observação microestrutural claramente indica que o volume de cristalização aumenta quando o período de tempo do tratamento térmico aumenta. O processo implica mudanças físicas e químicas (por exemplo, a formação de fase líquida, a dissolução, a cristalização) assim como mudanças de forma (por exemplo: a contração e a deformação). A temperatura de queima se forma em um vidro de silicato viscosos e flui entre os poros devido a ação das forças capilares, porém também proporciona alguma coesão ao sistema para prevenir uma distorção significativa devido a força da gravidade. No esfriamento se forma um produto denso sólido, com a fase vítrea que considera as partículas sólidas (CARDOSO e TOLENTINO, 2013).

As principais vantagens do processo de vitrificação, conforme aborda Colombo *et al.* (2003) são:

- Vidros inorgânicos podem incorporar grandes quantidades de íons de metais pesados, quimicamente ligando-os na sua rede inorgânica amorfa;
- Os vidros obtidos são inertes para a maioria dos agentes químicos ou biológicos, assim eles podem ser dispostos em aterros sem problemas ou utilizados para estradas, pavimentos, aterros, entre outros;
- O processo de vitrificação pode aceitar resíduos de composição e forma diferentes, como líquidos, lamas, sólidos ou suas misturas. Portanto, uma central de vitrificação bem concebida pode ser suficientemente flexível para tratar resíduos de vários tipos, sem ou com um mínimo de pré-tratamento;
- Vitrificação é uma tecnologia madura, e sistemas de formação de vidro têm sido amplamente investigados nas universidades, para que suas propriedades sejam bem conhecidas;
- A vitrificação resulta em uma grande redução do volume do resíduo.

2.3.7. Capitalismo Natural

Diversas atividades econômicas têm criado problemas à saúde humana e ao planeta e isso tem gerado um grande debate mundial pelas questões relativas à preservação do meio ambiente e pelo desenvolvimento sustentável. Este crescimento desenfreado de diversos países, de setores industriais e da tecnologia têm demonstrado uma relação insustentável no uso dos recursos naturais e que, conseqüentemente, levará a sérios problemas futuros. (WESCHENFELDER, 2005)

A seguir são apresentados conceitos importantes atribuídos por Hawken *et al.* (2007). O Capitalismo Natural aborda uma alternativa que produz relevantes ganhos não somente para as futuras gerações, mas também para os acionistas de hoje. Ela permite que as empresas atuem como se já valorizassem adequadamente o capital natural. É altamente lucrativa até mesmo hoje, quando esse capital é avaliado em praticamente zero. Para atingir tal resultado, o capitalismo natural combina quatro princípios que se reforçam mutuamente, os quais podem ser adotados por qualquer empresa:

- Capital Humano – trabalho e inteligência, cultura e organização;
- Capital Financeiro – dinheiro, investimento e instrumentos monetários;
- Capital Manufaturado – infra-estrutura, máquinas, ferramentas e fábricas;
- Capital Natural – recursos, sistemas vivos e os serviços do ecossistema.

Ainda, pelos mesmos autores, o Capitalismo Natural apresenta quatro estratégias centrais, que são formas dos países, empresas e comunidades operarem, comportando-se como se todas as formas de capital fossem valorizadas. Assim, é possível evitar a escassez, perpetuar a abundância e estabelecer uma base sólida para o desenvolvimento social.

- a) Produtividade Radical dos Recursos – uso efetivo dos recursos desacelera seu esgotamento, diminui a poluição e fornece as bases do crescimento do emprego em atividades significativas em todo o mundo. Aumentar a produtividade dos recursos significa obter de um produto ou processo a mesma quantidade de utilidade/trabalho usando menos material e energia;

- b) Biomimetismo – A redução do uso dissipador de material, isto é, a eliminação da própria idéia de desperdício que pode ser obtida redesenhando-se os sistemas industriais e materiais de forma a reciclar de maneira constante e até eliminando toxidade.
- c) Uma Economia de Serviço e de Fluxo – Trata-se de uma alteração na relação entre produtor e consumidor, de uma transformação da economia de bens e aquisição para uma economia de serviço e de fluxo. No lugar de uma economia onde os bens são produzidos e vendidos, uma economia de serviços em que os consumidores obtêm serviços tomando os bens emprestados ou alugando-os em vez de comprá-los. Os fabricantes ao invés de vendedores de produtos se tornam prestadores de serviços. A meta é vender resultados, desempenho e satisfação. “Nada na natureza se exaure em seu primeiro uso”.
- d) Investindo no Capital Natural – Reverter, mundialmente, a destruição do planeta através de reinvestimento na sustentação, restauração e na expansão dos estoques do capital natural. Os sistemas vivos são um fornecedor de componentes indispensáveis à vida do planeta e que não estão conseguindo mais atender às encomendas.

2.3.8. Cerâmica Vermelha no Brasil

O setor cerâmico no Brasil está composto por uma diversidade considerável de produtos fabricados. Entre eles, e de interesse a ser apresentado nesta tese é o setor de cerâmica vermelha, que representa cerca de 4,8% da indústria da construção civil, com faturamento anual em torno de R\$ 18 bilhões. A indústria de cerâmica vermelha constitui a fabricação de produtos cerâmicos não-refratários para uso estrutural na construção, excluídas as palavras pisos e azulejos da razão social.

O número de cerâmicas e olarias, segundo ANICER (2012), que desenvolvem atividades com o uso de cerâmicas ditas vermelhas são aproximadamente 6.903 empresas. Deste total, 4.346 empresas destinadas para a fabricação de blocos e tijolos. Todas juntas são responsáveis pela criação direta de 293 mil empregos diretos e gera aproximadamente cerca de

900 mil empregos indiretos. A indústria de produção da cerâmica vermelha consome mensalmente cerca de 7.800.000 toneladas de argila, produzindo 4.000.000.000 de peças.

Conforme apresentado por Carvalho *et al.*, (2000) apud Duarte (2008), a cerâmica vermelha abrange um grupo constituído por tijolos, telhas, tubos, lajotas, entre outros, normalmente fabricados próximos dos pontos de consumo, e que utilizam matérias-primas próximas da fonte de consumo. As matérias-primas são argilas e siltes argilosos, com alto teor de impurezas, entre as quais se destacam principalmente minerais de ferro, responsáveis pela coloração avermelhada, típica destes produtos.

2.3.9. Argilas

As argilas, conforme apresentado por Teixeira-Neto (2009) e Gomes (1988), são comumente definidas como materiais naturais, terrosos, de granulação fina que, quando umedecidos com água, apresentam plasticidade. De modo geral, o termo argilas refere-se às partículas do solo que possuem diâmetro inferior a 2 μm e das quais podem fazer parte diferentes tipos de minerais: silicatos lamelares de magnésio e de alumínio (filossilicatos), quartzo, feldspato, carbonatos, óxidos metálicos e até mesmo matéria orgânica.

A argila, conforme definição apresentada por Santos (1989) é uma rocha finamente dividida, constituída essencialmente por argilominerais, e pode conter minerais que não são considerados argilominerais (calcita, dolomita, gipsita, quartzo, alumina, pirita entre outros), matéria orgânica e outras impurezas, caracterizando-se por:

- a) ser constituída essencialmente por argilominerais;
- b) possuir elevado teor de partículas de diâmetro equivalente abaixo de 2 μm ;
- c) quando pulverizada e umedecida, torna-se plástica após secagem é rígida e após queima, em temperatura elevada (superior a 1.000 °C) adquire dureza de aço;

Bitencourt (2004) apresenta que as argilas vermelhas são plásticas e possuem ferro em sua constituição. Resistem a temperaturas de até 1100° C.

Sua coloração é vermelho escura quando úmida, chegando a quase marrom quando atinge seu limite de temperatura de sinterização.

Segundo Velde (1992) as argilas possuem uma estrutura formada por lamelas cristalinas nanométricas *quasi* bidimensionais empilhadas, como um baralho de cartas. As lamelas têm pouco menos que 1nm de espessura e poucas centenas de nanômetros de diâmetro médio. A combinação de uma folha tetraédrica com uma folha octaédrica proporciona uma formação de estrutura cujo comportamento é muito estável, apresenta pequena distância reticular (fraca adsorção superficial) e muito baixa capacidade de troca catiônica.

A argila é o principal componente do processo de fabricação de cerâmicas vermelhas e se destaca como a 4ª maior produção da mineração nacional, estimada em 148 milhões de toneladas (MME, 2009).

Apesar da existência de grandes depósitos de argila para cerâmica vermelha, em torno de 3,6 bilhões de toneladas em 2005, o seu aproveitamento econômico está condicionado a alguns fatores, como distância entre a jazida e a fábrica. Além disso, conflitos entre mineração e as unidades de conservação ambiental, Áreas de Proteção Permanente - APP, Áreas de Proteção Ambiental - APA, parques, reservas ecológicas, reservas indígenas, entre outras, e com outras formas de uso e ocupação do solo, vêm reduzindo as áreas disponíveis, podendo colocar em risco o abastecimento futuro, principalmente em regiões mais densamente ocupadas. De acordo com MME (2009), as projeções de demanda de reservas indicam a necessidade de uma suplementação de reservas na faixa de 1,5 a 4,5 bilhões de toneladas. Os investimentos necessários para fazer frente à reposição de reservas situam-se na faixa de R\$ 21 a R\$ 44,4 bilhões (MME, 2009);

O mineral básico das argilas é a caulinita, que é um silicato de alumínio hidratado, composto por alumina (óxido de alumínio), sílica (óxido de silício) e água. A estrutura da argila é formada por uma molécula de alumina, que contém dois átomos de alumínio e três de oxigênio; duas moléculas de sílica, que contém um átomo de silício e dois de oxigênio e duas moléculas de água,

com dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, podendo ser representado por $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]_2$ (PORTO ROSSI, 2013).

A estrutura é similar às apresentadas nas FIGURA 12. Conforme comenta Cardoso e Tolentino (2013), a estrutura morfológica do cristal de caulinita pode ser descrito como uma lâmina de tetraedros $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{1-}$ unida com uma lâmina de octaedros $\text{Al}_2(\text{OH})_6$.

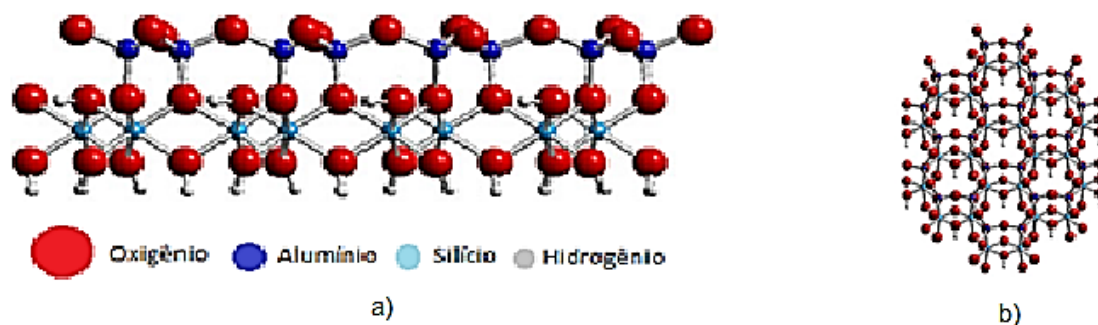


FIGURA 12 – a) ESPAÇAMENTO ENTRE MOLÉCULAS DA CAULINITA VISUALIZANDO OS ELEMENTOS CONSTITUINTES, E b) VISTA SUPERIOR DA ESTRUTURA DA CAULINITA

O óxido de ferro (Fe_2O_3) também é normalmente encontrado nas argilas. Ele é o responsável por proporcionar a cor avermelhada ou amarelada para a maior parte das argilas. Também reduz a plasticidade e diminui a retração, o que é uma grande vantagem quando da secagem do produto final. O Fe_2O_3 diminui a resistência mecânica, porém o pouco que funde, contribui na sinterização, proporcionando dureza ao vidro.

A argila é considerada matéria prima essencial no processo de fabricação de componentes cerâmicos, pois normalmente constitui a maior parte de sua formulação. É componente facilmente encontrado e extraído da natureza, conforme o que define quimicamente dá-se o nome de argila ao conjunto de minerais compostos, principalmente de silicatos de alumínio hidratado ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), denominado caulim ou caulinita. O caulim origina-se, principalmente, da decomposição dos feldspatos pela ação do anidrido carbônico. $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (caulim) + $4\text{SiO}_2 + \text{K}_2\text{CO}_3$.

2.3.10. Entulho

Consistem nos resíduos da construção civil proveniente de casas e/ou prédios que foram demolidos. Nele constam vários tipos de materiais, entre eles: areia, tijolos e outros elementos, que poderão atribuir eventual significância aos ensaios a serem realizados.

O entulho é definido como calça, pedregulhos, areia, ou seja, tudo aquilo que sirva para aterrar, nivelar depressão de terreno, vala. Restos de tijolos, argamassa. Em suma, são materiais inúteis resultantes da demolição. Numa linguagem mais técnica, o Resíduo da Construção e Demolição (RCD) ou Resíduo da Construção Civil (RCC) é todo o resíduo gerado no processo construtivo, de reforma, escavação ou demolição (ABRECON, 2013)

O entulho de construção é composto de restos e fragmentos de materiais, enquanto o de demolição é formado apenas por fragmentos, tendo por isso maior potencial qualitativo em comparação ao entulho de construção.

O processo de reciclagem do entulho, para a obtenção de agregados, basicamente envolve a seleção dos materiais recicláveis do entulho e a trituração em equipamentos apropriados.

Conforme define ABRECON (2013) os resíduos encontrados predominantemente no entulho, que são recicláveis para a produção de agregados, pertence a três grupos:

Grupo I: Materiais compostos de cimento, cal, areia e brita: concretos, argamassa, blocos de concreto.

Grupo II: Materiais cerâmicos: telhas, manilhas, tijolos, azulejos.

Grupo III: Materiais não-recicláveis: solo, metal, madeira, papel, plástico, matéria orgânica, vidro e isopor. Desses materiais, alguns são passíveis de serem selecionados e encaminhados para outros usos. Assim, embalagens de papel e papelão, madeira e mesmo vidro e metal podem ser recolhidos para reutilização ou reciclagem.

Fazendo a mesma abordagem aplicada para a MV, e considerando a informação apresentada na FIGURA 10 – Fluxograma de Geração de Opções

de Produção Mais Limpa, o resíduo de construção civil (Entulho), foi classificado neste estudo como ação de Nível 3, pois é um material que foi coletado em transformador da RMC, que evidencia a Reciclagem Externa – Materiais.

2.3.11. Cinza de Madeira

É caracterizado como material que foi queimado a partir da madeira ou serragem e que é originário do processo de queima de madeira necessário para a geração de calor das olarias. Este material foi coletado em olaria na RMC. Sua aplicação na formulação é para atender a característica de absorção de água, gerador/moderador de porosidade e também como elemento de queima na respectiva amostra (pois pode haver quantidade de madeira ou serragem que não foi completamente queimada).

As cinzas têm origem em processos de queima da madeira, normalmente em processos que necessitam a geração de calor, como é o caso das olarias. O material utilizado para queima é normalmente obtido / comprado sob a forma de serragem (material picado e com granulometria fina), dessa forma, essa matéria prima passa a ter melhor aproveitamento térmico pois apresenta maior facilidade de queima, devido sua área superficial ser maior.

Conforme apresenta Borlini *et al.* (2005), cinzas constituem um tipo de resíduo, que pode conter inclusive metais, causador de poluição do ar e ser responsável por graves problemas respiratórios na população atingida. Em adição, os autores comentam que devido o teor relativamente elevado de óxidos alcalinos e alcalinos terrosos, quando a cinza for adicionada em argila ela pode contribuir para a redução da porosidade de queima através da formação de fase líquida.

A serragem adquirida pelas olarias tem diversas origens, pois já fazem parte da cadeia de reaproveitamento de resíduos, e em alguns casos são negociados por meio de entidades denominadas Bolsa de Resíduos. Nesta situação, o processador adquire a madeira de diversas origens, sendo as principais, restos/aparas de material de construção civil (caixarias, estacas e até materiais de demolição, entre outros). Porém, também pode adquirir ou

receber materiais tipo podas de árvores. Portanto, a origem é bastante diversificada.

A cinza de madeira em relação a FIGURA 10 - Fluxograma de Geração de Opções de Produção Mais Limpa, foi classificada neste estudo como uma ação de Nível 2, pois é um material que foi coletado diretamente na olaria que realiza a queima de serragem para a produção de energia térmica, que evidencia a Reciclagem Interna pelo aproveitamento do resíduo no local de geração.

2.3.12. Microesferas de Vidro - MV

As MV são materiais utilizados para fazer a limpeza superficial (processo denominado jateamento) de peças metálicas, que entre outras, podem apresentar corrosão superficial, incrustações, sujidades, entre outros. O processo de jateamento também pode ser realizado em diversos tipos de metais, e em função disso, a contaminação das microesferas de vidro pode ocorrer por esse tipo de processamento.

Em determinados casos, a empresa que realiza o processo de jateamento desconhece a procedência da peça que está realizando a limpeza, motivo pelo qual foi difícil conhecer a origem do resíduo presente junto à MV. Assim, sua caracterização também foi demandada visto que pode conter quantidade significativa de resíduos e sua classificação (para destinação final) é dada como Resíduo Classe I – Perigoso.

Este material foi considerado no estudo como material fundente, pois tem a função de baixar o ponto de fusão da mistura (massa cerâmica).

Considerando a informação apresentada na FIGURA 10 – Fluxograma de Geração de Opções de Produção Mais Limpa, o resíduo de MV foi classificado neste estudo como uma ação de Nível 3, pois é um material que foi coletado em uma indústria metal mecânica da RMC, que evidencia a Reciclagem Externa – Materiais.

2.4. APLICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM MATRIZ DE ARGILA

Para o desenvolvimento deste tópico, foi realizada uma coletânea de informações obtidas através de pesquisas realizadas em publicações de jornais internacionais assim como publicações nacionais (revistas técnicas especializadas e congressos nacionais e internacionais). Quanto a parte experimental e a formulação de cerâmica contendo resíduo industrial e material cerâmico (argila) processado, existem diversos trabalhos já desenvolvidos e até mesmo publicados em revistas especializadas, porém a quantidade de resíduos incorporada à massa cerâmica é apresentada em teores inferiores aos aqui pretendidos.

Vários outros estudos que foram desenvolvidos nesse campo dizem respeito principalmente à utilização de resíduos de tratamento de águas e em alguns casos faz-se menção ao lodo de estação de tratamento de efluentes da rede de esgoto. Todos eles foram testados e incorporados à massa cerâmica (ou cerâmica vermelha). Porém, as publicações que consideram a incorporação do lodo de indústria automobilística são muito escassas. A correlação para desenvolvimento do respectivo estudo e considerando o potencial poluidor similar é utilizar estudos realizados com resíduos de indústrias galvânicas, os quais apresentam maior abrangência.

Apesar do lodo industrial do processo produtivo de uma indústria automobilística ser gerado em quantidade bastante significativa, os estudos desenvolvidos nessa área não são difundidos. Este material (resíduo) é formado principalmente por resíduos provenientes dos processos de tratamento de superfície (óleos e graxas), proteção superficial (cataforese) e resíduos de tinta (oriundos dos processos de aplicação denominados primer, base e verniz).

Os estudos apresentados neste item consideram fundamentalmente resíduos galvânicos, com exceção a um único estudo abordando a utilização de lodo automobilístico. A contextualização adotada consiste na análise por abrangência do tipo de resíduo envolvido, apesar da procedência um tanto quanto diferenciada, mas que em termos teóricos permite fazer uma análise

por similaridade, por se tratar de resíduos classificados como perigosos (Classe I), segundo a legislação brasileira.

Assim sendo, o foco a ser adotado, tanto na análise de determinadas composições bem como na execução de amostras, consiste na aplicação de conceitos já estudados por outros autores e aplicá-los para o tema que se pretende desenvolver neste estudo. A seguir são apresentados estudos realizados por pesquisadores considerando a utilização de resíduos provenientes de processos.

O vidro é o material que possui a estabilidade química mais elevada, e pode realizar ligações com qualquer elemento da tabela periódica. Além disso, o processo de vitrificação geralmente reduz o volume do resíduo de vidro, podendo ser armazenado por longos prazos (SOUZA *et al.*, 2012). Em adição ao anteriormente apresentado, a CEC (Comissão da Comunidade Europeia, 2004) apresenta em seu ato de 2004/317/CE que o vidro pode ser utilizado como material fundente no processo de fabricação de tijolos e em porcelanas para sanitários.

Bragança e Bergmannn (2004) compararam as propriedades mecânicas de uma porcelana que utiliza vidro alcalino como fundente, com uma porcelana tradicional (utilização de feldspato de potássio como fundente) e constataram que apesar da incorporação do vidro na massa diminuir o módulo de ruptura e a densidade da porcelana, apresentou a vantagem por ter a temperatura de queima reduzida em 100°C.

Segundo Boch e Nièpce (2007), quatro minerais Feldspatos podem estar contidos em materiais cerâmicos. Quando estão presentes e dependendo da relação entre potássio e sódio são importantes fundentes que tornam possível a redução da temperatura de sinterização e aumento do conteúdo alcalino de fases vítreas. São eles:

- Ortoclásio - Mineral rico em potássio, com composição – $K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$
- Albita – mineral rico em sódio, com composição – $Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$
- Anortita – mineral rico em cálcio, com composição – $CaO.Al_2O_3.2SiO_2$
- Petalita – mineral rico em lítio, com composição – $Li_2O.Al_2O_3.8SiO_2$.

Além da alta pressão de compactação utilizada no processamento de materiais cerâmicos, Oliveira (2012) comenta que é necessário que durante a queima ocorra o preenchimento dos vazios intergranulares realizado por um componente que esteja no estado líquido e que apresente viscosidade adequada para que penetre nos capilares. A autora também comenta que o comportamento cerâmico mais característico destes minerais é sua notável fusibilidade e a formação, com outros elementos presentes, de eutéticos que possibilitam atingir a gresificação ⁸ em temperaturas mais baixas.

Durante o resfriamento do corpo cerâmico, a fase líquida não consegue se cristalizar, em função das altas taxas de resfriamento, e forma um esqueleto vítreo ao redor das partículas de outras fases cristalinas que praticamente não se alteram durante o processo térmico, como a SiO₂ (RIELLA *et al.*, 2002).

Godinho *et al.* (2005) investigaram o efeito da adição de pó de vidro de diferentes tipos (vasilhame, vidro de janela e funil de tubo de imagem de TV) na concentração de 6% em massa cerâmica. Observou-se que a adição diminui a absorção de água enquanto que a retração linear e a tensão de ruptura à flexão aumentam. Este comportamento foi explicado pelos autores devido à quantidade de óxidos fundentes dos vidros adicionados e da quantidade da dispersão das partículas de pó de vidro na argila.

Garcia-Valles *et al.* (2007) incorporaram 9,6% de lodo galvânico na fórmula porque representava quantidade suficiente para estudar a presença de Ni, Cr, Cu, Zn e seu comportamento em vidro. Além disso, esta proporção de lodo galvânico permitiu eliminação total deste material na Catalunha. A mistura foi fundida num cadinho de platina a 1450° C, durante 8 horas e depois arrefecida bruscamente com uma placa metálica, para se obter o vidro original. Uma vez feito isso, o vidro foi recozido a 700° C para eliminar tensões. Esta ação nucleante é produzida pela separação da matriz de vidro por um processo de imiscibilidade.

A importância de um material fundente na massa cerâmica está relacionada com sua capacidade de diminuir a temperatura de formação de

⁸ Gresificação – Medida da evolução da microestrutura do material durante a queima (SANCHEZ-MUNOZ *et al.*, 2002)

fase líquida durante o processo de queima. Esse líquido formado tende a preencher as cavidades do corpo cerâmico, podendo até eliminar a porosidade. A vitrificação não só resulta em uma redução de volume importante ou total de resíduos para aterros, mas também é uma opção de remediação eficaz para reciclagem de resíduos perigosos em novos produtos. Assim, o novo produto, obtido a partir de lamas, mais ou menos perigoso, torna-se o produto final de práticas ambientais (RIELLA *et al.*, 2002).

Em geral a presença de fase líquida facilita a sinterização. Vitrificação é a regra de silicatos cerâmicos onde a reação entre os componentes iniciais formam compostos fundidos a temperaturas baixas, com o desenvolvimento de uma quantidade abundante de líquido viscoso. Várias cerâmicas técnicas são sinterizadas na presença de fase líquida. É raro que uma sinterização com fase líquida não implique nenhuma reação química. Os principais parâmetros são: a) quantidade de fase líquida, b) sua viscosidade, c) sua molhabilidade com respeito ao sólido, e d) a respectiva solubilidade do sólido no líquido e do líquido no sólido (BOCH e NIEPCE, 2007)

Luz e Ribeiro (2004) desenvolveram trabalhos analisando a incorporação de pó de vidro na argila em substituição ao feldspato como fundente, concluindo que o vidro é um bom fundente, permitindo a queima das amostras em temperaturas menores do que as encontradas na literatura quando comparadas ao feldspato.

Pisciella *et al.* (2001) comentam que a durabilidade química dos vidro proporciona possibilidade de reutilização de vidro obtido por vitrificação de resíduos industriais e que se torna orientada principalmente pelas avaliações econômicas e aspectos normativos.

A reciclagem de resíduos da construção civil ainda é um processo recente e apesar de ser amplamente aplicado em alguns países, desenvolvem ações muito pontuais no Brasil. A promulgação da Lei Federal 12.305, que institui a PNRS, estabelece os elementos principais para que este tipo de prática seja melhor desenvolvida no país. Serve como base para o desenvolvimento de trabalhos futuros com a incorporação de resíduos proveniente, por exemplo, de resíduos de demolição ou restos de obras civis.

Pela definição apresentada por Lovins (2010), em geral, se o processo industrial se tornar ecológico significa que está transformando desperdício em lucro. Se estiver reduzindo a geração de algo que ninguém quer, como lixo ou emissões poluentes. Retira-se isso do projeto, o que rapidamente leva a uma enorme inovação e vantagem competitiva.

No Paraná, a Lei Estadual nº 12.493/99 estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios de gerenciamento de resíduos que estão sob responsabilidade de seus geradores. Conforme a Lei Federal nº 9.605/1998, o gerador receberá pesadas sanções pela disposição inadequada de seus resíduos, por isto ele é obrigado a dispor, tratar ou temporariamente estocar seus resíduos, até a destinação final eficiente.

Para o correto gerenciamento dos resíduos sólidos industriais, é necessário conhecer as quantidades geradas de resíduos, sua tipologia, sua forma de tratamento e sua disposição final. Cabe ao Instituto Ambiental do Paraná - IAP, realizar, obrigatoriamente, o Inventário de Resíduos Sólidos Industriais no Estado, de acordo com o estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) na Resolução nº 313/2002 e corroborado pela Lei Estadual nº 12.493/1999 e Decreto Regulamentador nº 6.674/2002 (CURITIBA, 2003).

Dentre as técnicas conhecidas, amplamente difundidas atualmente e conforme comentam Bergaya *et al.* (2006), existem várias formas de se tratar um resíduo:

- a) Converter constituintes agressivos em formas menos perigosas ou insolúveis;
- b) Alterar a estrutura química de determinados produtos, tornando mais fácil sua assimilação pelo meio ambiente;
- c) Destruir quimicamente produtos indesejáveis e separar da massa de resíduos os constituintes perigosos, com a consequente redução de volume e periculosidade;
- d) Encapsular, método conhecido como solidificação, estabilização, inertização ou fixação, consiste na estabilização ou imobilização de resíduos perigosos transformando-os em materiais menos

poluentes através da adição de aglomerantes ou através de processos físicos.

Existem vários tipos de encapsulamentos, conforme sugerido por SENAI-RS (2002). No entanto, em função da abordagem aplicada no referido trabalho, será apresentada apenas a técnica de vitrificação com sílica, que consiste em resíduos altamente perigosos ou radiativos fundidos com a sílica e a técnica que mais se aproxima do trabalho em desenvolvimento. O encapsulamento tem como objetivos:

- Melhorar as características físicas e de manuseio do resíduo;
- Diminuir a área superficial de transferência ou perda de constituintes para o meio;
- Limitar a solubilidade de qualquer constituinte do resíduo;
- Imobilizar constituintes perigosos.

Segundo estudos realizados por Magalhães *et al.* (2003b) a incorporação de resíduos industriais em matrizes cerâmicas tem demonstrado que essa técnica se mostra efetiva e de custo relativamente baixo para realizar a fixação de elementos metálicos em produtos de uso comum.

Dentre os artigos científicos pesquisados, apenas Mymrine *et al.* (2007) apresentam abordagem considerando análise de resíduos provenientes de lodos automobilísticos. Neste estudo a principal avaliação é realizada na composição de lodo automobilístico (35%), vidros residuais (10%), sais de chumbo proveniente de neutralização de ácidos de bateria (20%) e argila (35%). O resultado obtido deste estudo apresenta resistência a flexão em 10,7 MPa a temperatura de 950° C, e a inertização do resíduo de metal pesado (Pb) que figura como elemento crítico da composição estudada..

Pesquisa realizada por Lagaya (1993) e Grim (1968), *apud* Ferreira *et al.* (1999) identificaram que os minerais da argila apresentam boa capacidade de troca de cátions devido a sua tensão superficial, e poderia ser usado para interceptar prejudiciais íons de metais pesados. Por exemplo, a adsorção / desorção de cátions em superfícies minerais, substituições intercamadas,

reações de intemperismo mineral e catálises da argila estão, em alguns aspectos, intimamente relacionada com as características de carga da superfície dos minerais envolvidos. No entanto, a fixação destes íons metálicos por troca de cátions não elimina a possibilidade de lixiviação.

Por outro lado, os minerais da argila têm composições mineralógicas típicas envolvendo as fases de silicato, que podem dissolver quantidades consideráveis de metais na estrutura. Além disso, a possibilidade de formar soluções sólidas é reforçada em alta temperatura. Portanto, a incorporação de resíduos contendo íons de metais pesados, como Cr, Pb, Zn, Cu, Ni, entre outros, em uma matriz cerâmica pode ser um caminho promissor para inertizá-los e evitar os riscos ambientais. Nas últimas décadas, muitos trabalhos têm sido escritos sobre a reutilização, na indústria de tijolos, de uma vasta gama de resíduos urbanos e industriais (FERREIRA *et al.*, 1999).

Balaton *et al.* (2002) abordam que uma das propriedades apresentadas pela argila, e que favorece a inertização, é a capacidade de troca de cátion. Isso faz com que os metais, encontrados na forma de íons, sejam adsorvidos pela argila, porém não garante a possibilidade de estarem completamente inertes, sendo necessária à realização de ensaios de lixiviação e solubilização no produto final obtido. Além disso, o processo térmico potencializa as reações químicas entre os metais do resíduo e os demais componentes da massa.

Camargo *et al.* (2005) realizaram estudos iniciais levando em consideração somente a adição individual de óxidos de metais pesados à massa cerâmica, variando sua adição nas proporções de 0,3%, 1%, 3% e 10% e sua sinterização entre as temperaturas de 650° e 1050°C.

Os resultados obtidos indicam que os percentuais adicionados, não causam deterioração das características físicas da cerâmica vermelha. Porém, estes estudos consideram apenas análises individuais da presença de materiais classificados como tóxicos (óxidos de metais pesados). Não foram realizados ensaios que permitiram caracterizar a presença de vários elementos contaminantes numa única amostra, de forma a simular a utilização de um resíduo industrial.

Em complemento a este estudo Yoshimura *et al.* (2005) identificaram que em geral o teor de metal lixiviado diminui com o aumento da temperatura de sinterização. Exceção se faz às adições de óxidos de Mn e Co que apresentaram valores máximos à temperatura de 850° C. Portanto, pelo estudo realizado foi constatado que o processo de incorporação de metais Cd, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn, Mn e Co às massas cerâmicas é viável para a estabilização destes metais, desde que sejam respeitados os teores máximos de adição e as temperaturas mínimas de sinterização.

Magalhães *et al.* (2003a), desenvolveram estudo sobre o tema utilizando variações de 1% a 10% de lodo galvânico incorporado a massa cerâmica. Três elementos foram considerados de extrema importância para desenvolver o estudo e principalmente para obter os resultados com as amostras testadas: a) tempo de mistura, b) pressão de compactação da amostra e c) temperatura de queima. Dessa forma, conforme propõem os autores, há maior interação entre a argila e o lodo proporcionando uma interação química entre os metais pesados além da ocorrência de vitrificação quando do atingimento das características supra citadas, obtendo assim resultados significativos como àqueles identificados nos seus estudos.

Balaton *et al.* (2002) desenvolveram ensaios de laboratório utilizando percentuais de 2% e 5% de resíduos sólidos galvânicos incorporados à massa cerâmica. Durante a etapa de secagem das amostras, houve a ocorrência de eflorescência de sais solúveis presentes no próprio resíduo galvânico. Em função da ocorrência desse fenômeno, a amostra com 5% de resíduos incorporados a massa cerâmica não apresentou bons resultados, sendo segregada, permanecendo apenas a amostra que continha 2% de resíduo lavado, a qual não apresentou a eflorescência de sais ao final dos ensaios.

Magalhães, *et al.* (2004a) demonstraram que é viável estabilizar lodo galvânico em uma matriz de argila em queimas de altas temperaturas (850 °C-1050 com o tempo máximo de queima variando de 3 a 7 horas.

Silva e Castanho (2004) desenvolveram um trabalho de incorporação de lodo galvânico em misturas variadas de vidro e sílica pulverizada para obter

um vidro silicato. Na adição de 20% de lodo foi encontrado o melhor resultado ao ataque hidrolítico, com o tempo máximo de queima variando de 3 a 7 horas.

Ensaio realizado por Ferreira *et al.* (1999) indicaram que a incorporação de até 15% de lodo nas amostras testadas não produz mudanças significativas nas propriedades físicas e químicas dos materiais cerâmicos obtidos, caracterizando assim um procedimento viável de inertização dos agentes contaminantes. A amostra testada com 5% de adição de lodo apresentou resultados similares à amostra padrão em todos os testes de temperatura. Minerais de argila usualmente apresentam boa capacidade de troca catiônica, devido às suas propriedades de carga de superfície, e poderia ser usado para interceptar prejudiciais íons de metais pesados.

A adsorção / desorção de cátions em superfícies minerais, substituições intercalares, reações de intemperismo e catálise mineral de argila são, em alguns aspectos intimamente relacionados com a carga de superfície característica dos minerais envolvidos. No entanto, a fixação destes íons metálicos por troca de cátions não elimina a possibilidade de lixiviação. Por outro lado, os minerais de argila têm composições mineralógicas típicas envolvendo as fases de silicato, que pode dissolver quantidades consideráveis de metais na estrutura (FERREIRA *et al.*, 1999).

Mymrin *et al.* (2006) e Castanho e Ferreira (2001) desenvolveram pesquisa utilizando lodo galvânico eletrolítico, poeira de MV e areia de fundição mais argila natural. Várias composições foram avaliadas, e o melhor resultado de resistência a ruptura foi obtido com a composição em peso de 25% de lodo, 25% de microesfera e 20% areia de fundição a temperatura de 1100° C, bem como baixos valores de metais pesados nos ensaios de lixiviação e solubilização.

Pelos estudos realizados por Castro *et al.* (2003), e que englobaram experimentação em escala industrial, vários resíduos da indústria metalúrgica e de processamento de materiais podem ser corretamente geridos, se incorporados na fabricação de materiais para construção civil, em condições técnicas adequadas. Estes resíduos representam evidentes benefícios ambientais quando comparada esta prática com a deposição em aterro. Ainda

apresenta vantagens no contexto da exploração sustentada dos recursos naturais, por via de contribuir para uma maior vida útil das reservas disponíveis.

Mello-Castanho e Ferreira (2004) incorporaram lodos galvânicos em concentrações de 3%, 13%, 23%, 33% e 43%, porém os melhores resultados foram obtidos com a incorporação de 23% de lodo com matriz de vidro e feldspato visando a inertização dos metais pesados. O vidro tem a propriedade de incorporar uma variedade de elementos que tanto podem participar na formação da estrutura do vidro como também serem envolvidos pelo vidro durante o processo de fusão/fabricação.

Basegio *et al.* (2007) realizaram experimentos com percentuais de 2%, 5% e 10% de lodos galvânicos a temperaturas entre 900°, 1000° e 1100° C, porém os resultados obtidos apresentaram presença de traços de Cádmio e Cromo nas análises de lixiviação e solubilização. Considerando as avaliações realizadas, nas amostras contendo 2% de lodo galvânico, queimados a 1100° C, obtiveram melhores resultados, pois apresentaram adição de vidro sódio-cálcico nos percentuais de 5%, 10% e 15%. Obtiveram bons resultados em termos de porosidade superficial e absorção de água, porém redução a resistência mecânica. As análises de lixiviação e solubilização com essas amostras caracterizaram os materiais como Classe II A - Não Inertes.

Existem poucas evidências do aproveitamento de resíduos provenientes de tratamento de efluentes galvânicos em processos de fabricação de cerâmicas vermelhas. Os principais estudos desenvolvidos nesse campo dizem respeito principalmente à utilização de resíduos de tratamento de águas e em alguns casos o lodo de estação de tratamento de efluentes (esgoto) incorporados à massa cerâmica. Em cada um dos casos a caracterização dos resíduos provenientes do processo de tratamento não é identificada como elemento que necessita de coprocessamento, como destinação final. Estes resíduos podem ser caracterizados como materiais inertes pelo tipo de tratamento que são submetidos. Para o caso do tratamento de águas, são dispendidos esforços para fazer a clarificação da água sem que sejam tratados elementos químicos considerados metais pesados. Para o caso do tratamento de esgoto, os processos variam de aeróbios a anaeróbios. Em

ambos os casos, o processo é fundamentalmente biológico, é o tipo de resíduo obtido ao final do processo é essencialmente orgânico.

O processo que se deseja obter em relação ao resíduo existente consiste na inertização deste tipo de resíduo incorporando-o com materiais a base de vidro e avaliar seu comportamento em termos de estrutura cristalina e resistência mecânica.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Devido à característica do lodo da estação de tratamento de efluentes industriais (lodo automobilístico) que consiste objeto de estudo dessa tese e tendo em consideração que este resíduo é classificado como Resíduo Classe I – Perigoso, de acordo com a Norma NBR 10004:2004, faz-se necessária a utilização de métodos que identifiquem com exatidão os elementos presentes no lodo em questão. Da mesma forma, para os demais materiais utilizados nas formulações pretendidas, a análise e caracterização dos mesmos também são importantes. No Anexo I é apresentado o fluxograma de preparação de amostras. Nele são descritas todas as etapas aplicadas na caracterização, tanto dos materiais utilizados na formulação dos corpos de prova como dos produtos obtidos após a queima.

Para desenvolvimento das atividades propostas nesta tese, fazem parte constituinte do mesmo os seguintes procedimentos: ensaio de resistência à flexão (NBR 13818, 1997), conforme estabelecido pela NBR 15271-1:2005, retração após queima, teste de lixiviação conforme NBR 10005:2004 e solubilização conforme NBR 10006:2004, difratometria de Raio-X, fluorescência de Raio-X, análise de perda ao fogo, análises morfológica e química em microscópio eletrônico de varredura via EDS, dos resíduos e demais elementos que fizeram parte da caracterização dos materiais.

Os resíduos da estação de tratamento de efluentes industriais utilizados na formulação do novo material foram provenientes de duas indústrias automotivas da Região Metropolitana de Curitiba e foram adicionados em diferentes composições com o objetivo de identificar a melhor interação entre resíduos e argila. É importante observar que não foram realizadas misturas entre os resíduos (lodos) provenientes das indústrias automotivas.

Somente a adição de lodo à argila não foi condição suficiente para definir um novo produto que apresente características mínimas necessárias conforme estabelece a legislação. Em função disso foi identificada a falta de um elemento ligante entre ambos, que neste caso foi o resíduo à base de vidro.

Desta forma, a incorporação de resíduos a base de vidro (proveniente de MV), entulho (RCC) e/ou cinza de madeira (resíduos de fornos de queima de madeira) foram adicionados em diferentes composições para estabelecer a melhor formulação da nova massa cerâmica.

O parâmetro inicial considerado para a classificação das formulações propostas foi à resistência à flexão. Para que a formulação em estudo esteja de acordo com as especificações nacionais, a mesma deve apresentar valor maior ou igual a 4 MPa de resistência à flexão. Em paralelo, também foi avaliadas a retração linear das formulações estabelecidas. Somente após a compilação dos dados da análise de resistência à flexão de todas as amostras testadas é que foi estabelecida a formulação para confecção de lote maior de amostra para a realização das análises de solubilização e lixiviação.

Para a análise das propriedades das amostras testadas em laboratório, os ensaios foram executados nas dependências da própria UFPR, nos laboratórios LAMIR (Laboratório de Análise de Minerais e Rochas - Geologia) e no LTA (Laboratório de Tecnologia Ambiental – PIPE). Também foram realizados ensaios nos laboratórios LABEAM (Laboratório de Engenharia Ambiental Francisco Borsari Netto), Laboratório de Materiais de Engenharia Civil da UTFPR, LACTEC (Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento) e DIMAT (Laboratório da Divisão de Materiais da Renault do Brasil).

A argila foi a principal matéria prima utilizada na fabricação de tijolos. Neste estudo foi o elemento a ser processado em quantidade reduzida, de modo a incorporar resíduos das indústrias automobilísticas, metal mecânico e cerâmico. O material utilizado nos ensaios foi coletado na região de Joinville no Estado de Santa Catarina.

Os demais componentes (resíduos) utilizados para fabricar os corpos de prova foram coletadas em indústrias automobilísticas da RMC. Além dos resíduos provenientes de estações de tratamento, outros elementos foram coletados. Os materiais provenientes de jateamento de peças, denominado MV foram coletados em Indústria Galvânica da RMC. Os materiais provenientes de entulho, resíduos de processos de demolição de residências, também foram utilizados na formulação de novos componentes cerâmicos coletados na cidade

de Campo Largo. A cinza de madeira foi procedente de olaria da RMC, diretamente do forno de queima de madeira e a argila natural foi fornecida a partir do depósito de olaria localizada na cidade de Joinville, em SC.

As análises realizadas no respectivo estudo consideram amostras únicas, coletadas em uma única amostragem. A quantidade de material coletado foi de aproximadamente 5 kg para cada tipo de resíduo. O motivo pelo qual não foi obtida maior quantidade de amostras ocorreu pela restrição na liberação de material (resíduo) por parte de cada indústria em que foi coletado.

3.1. RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Consistem nos materiais coletados no final do processo de tratamento de efluentes industriais, na saída do filtro prensa, proveniente de duas montadoras automobilísticas presentes na RMC. Consistem em materiais classificados como Resíduo Perigoso – Classe I. No entanto, essa classificação somente foi atribuída em função da análise realizada conforme a preconização estabelecida no item 4.2 da NBR 10.004 (2004).

Como o nome sugere, foi o material proveniente do processo de tratamento de efluentes industriais, coletado no final do processo industrial. Geralmente apresentam classificação como resíduos perigosos em função da presença de metais pesados em sua composição química.

Conforme apresentado anteriormente no item 2.2.2 deste trabalho, os descartes de banhos e os resíduos gerados no processo de pintura são direcionados para a ETE Industriais que são tratados (via processo de acidificação para separação de óleos e graxas e posteriormente alcalinização para posterior decantação dos metais presentes no líquido em tratamento). Ao fim do tratamento, a água pode ser descartada (se atender aos parâmetros estabelecidos na legislação) e o resíduo sólido (lodo) será retido no filtro prensa e direcionado posteriormente a uma caçamba.

O volume de lodo gerado está em função da quantidade de veículos produzidos. Quanto maior a fabricação de veículos maior será essa quantidade (até atingido o limite máximo de produção/capacidade instalada).

A classificação que o lodo apresenta em relação ao que apresenta a FIGURA 10 – Fluxograma de Geração de Opções de Produção Mais Limpa, foi classificado como uma ação de Nível 3, pois é um material que foi coletado em indústria automotiva da RMC, que evidencia a Reciclagem Externa – Materiais.

3.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para fins de análise, os resíduos industriais obtidos, proveniente das indústrias automobilísticas, foram analisados em separado.

Segue descritivo do método utilizado para a preparação dos CPs, para as formulações definidas. O Anexo I apresenta o Fluxograma de Preparação das Amostras.

Foram coletadas amostras de lodos (provenientes do processo de fabricação industrial automobilístico), da argila em estado natural, antes de iniciar o processo de fabricação da argamassa, da MV no formato que é utilizado no processo industrial, da cinza, proveniente da madeira, e do RCC, na forma como processado no agente transformador.

Os materiais foram recebidos em laboratório, dispostos em recipientes apropriados para serem secos em estufa (Marca FANEN – operação de trabalho até 300° C) até 110° C por 24 horas.

Após secas, as amostras foram moídas em moinho de carbeto de tungstênio, conforme apresentado na FIGURA 13.



FIGURA 13 – VISUALIZAÇÃO DO MOINHO DE CARBETO DE TUNGSTÊNIO, MODELO AMEF AMP1-M UTILIZADO NAS MOAGENS DOS MATERIAIS

O material moído foi transferido para peneira vibratória e a quantidade de material que passou pela peneira (marca Bertel) malha 32 *mash* foi utilizada para preparação de amostras. A mesma ação foi válida para todas as matérias primas preparadas (moídas).

Nas amostras moídas foram realizados ensaios de identificação das composições mineralógicas e químicas pelos métodos DRX, FRX e MEV. A DRX fornece a estrutura mineralógica da amostra, pois é a técnica que melhor identifica as fases cristalinas presentes em materiais cerâmicos, enquanto que a técnica de FRX apresenta resultado qualitativo dos constituintes presentes na amostra (ALBERS *et al.* 2002).

Para o método DRX foram pesadas amostras de 1g, dispostas em matriz para posterior compressão via dispositivo manual. Na amostra prensada foi realizada análise qualitativa no equipamento de DRX, marca PANalytical, modelo Empyrean, com detector X'Celerator, tubo de cobre. O método de detecção utiliza a Lei de Bragg⁹. A partir do difractograma obtido, utiliza-se um software para análise mineralógica qualitativa denominado *X'Pert Highscore Plus*, marca PANalytical, com banco de dados PDF-2 e após se obtém o difractograma. O tempo de varredura da amostra foi de cerca de 5 minutos.

Para a técnica de FRX foi utilizado o método da pérola fundida, com a preparação de 0,9g da amostra e 9,0g de Tetraborato de Lítio (também se utilizaram pequenas quantidades de Nitrato de Amônia - para inibir o efeito de enxofre, e de Brometo de Lítio – utilizado como desmoldante). A amostra foi fundida em cadinho de platina para em seguida ser analisada via equipamento de FRX marca PANalytical, modelo Axios Max com tubo de Ródio 4kv. Os resultados foram obtidos em gráficos e utiliza-se um software para análise química qualitativa denominado *Super Q5.0L*. A técnica de FRX detecta todos os elementos mais pesados que o flúor e presentes em quantidades superiores a 0,1%. Pela incidência de feixe de elétrons, ocorre a excitação dos elétrons

⁹ Lei de Bragg – Quando se ilumina um cristal com uma onda de comprimento λ , ocorre difração. Quando a diferença entre os raios incidentes e os raios difratados pelos átomos é igual a um número inteiro vezes o comprimento de onda, resulta daqui uma interferência construtiva. 2θ é o ângulo entre a direção dos raios incidentes e os raios difratados.

dos materiais em análise e pela difração obtida nos respectivos colimadores, se registra o pico obtido, também utilizando a Lei de Bragg. O tempo de varredura é de 6 minutos considerando 11 condições de leituras. O resultado obtido foi expresso em valores percentuais.

Em paralelo a técnica de FRX foi realizada análise de Perda ao Fogo (PF) que consiste na calcinação de uma amostra por 2 horas em forno mufla a temperatura de 1000° C. Essa técnica avalia a perda de água de cristalização, materiais orgânicos e o CO₂ ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$). O resultado foi expresso em valores percentuais considerando o peso final dividido pelo peso inicial vezes 100%.

Após a obtenção de materiais moídos, foi realizada pesagem dos materiais na granulometria desejada conforme formulação a ser adotada para cada amostra, considerando peso total de 200g em balança analítica (Marte AS5500, capacidade 5000g) de precisão de 0,01g. Os materiais foram homogeneizados a seco em almofariz e pistilo e adicionado água até a umidade da amostra de aproximadamente 20%.

OBS.: Não foi realizada análise de granulometria, pois o material utilizado sempre apresentava granulometria menor que 32 *mesh*.

Os Corpos de Prova (CP) foram prensados em molde de aço temperado, dimensão de 60 x 20 x 10mm em prensa hidráulica (FIGURA 14), com pressão de até 20 MPa, por 30 segundos até manter pressão de compactação constante. Em seguida a pressão foi retirada e a amostra extraída do molde.



FIGURA 14 – PRENSA HIDRÁULICA UNIAXIAL (MARCA BOVENAU, CAPACIDADE 5 T) UTILIZADA NA PREPARAÇÃO DOS CPS

As amostras obtidas foram secas em estufa FANEM a temperatura de 110°C por 24 horas. Em seguida, foram queimadas em forno de alta temperatura, conforme apresentado na FIGURA 15, aplicando temperaturas entre as faixas de 700 a 850° C, simulando condições de funcionamento existentes em escala industrial.

O equipamento utilizado para a queima foi o forno *Linn Elektro-Therm* com controlador de temperatura até 1300° C, com termopar de Pt-Pt/Rh e cones pirométricos com variação de 5° C.



FIGURA 15 – FORNO ELÉTRICO DE ALTA TEMPERATURA (LINN ELEKTRO THERM COM CONTROLE DIGITAL, CAPACIDADE 1300°C) UTILIZADO PARA QUEIMA DOS CPS

As configurações de temperatura foram definidas em função de cada uma das formulações estabelecidas. No entanto, os ciclos de temperatura de queima, bem como os tempos adotados para cada teste de queima foram programados para operar automaticamente, conforme apresentado a seguir:

- a) Início do processo (temperatura ambiente) até atingir a temperatura de 600° C mantendo uma taxa de aquecimento de 10° C por minuto;
- b) A temperatura de 600° C foi mantida constante por 30 minutos;
- c) Após a etapa b), continua aquecimento até temperatura desejada (Ex. 800° C), mantendo a taxa de aquecimento de 10° C por minuto;
- d) Fixação da temperatura de trabalho (Ex. 800° C) durante 6 horas (360 minutos);

- e) Desligamento do forno (automático, devido ao fim de ciclo de queima da amostra) com resfriamento normal (porta do forno fechada) até atingir temperatura ambiente (aproximadamente 14 horas);

Na FIGURA 16, se observa uma curva de temperatura típica, considerada em um dos ensaios realizados para a queima de corpos de prova. Para as faixas de temperatura acima de 700°C, foi utilizada a mesma curva, alterando apenas o patamar da temperatura final desejada, por exemplo, 750°C, e assim sucessivamente. O tempo apresentado na FIGURA 16 é dado em minutos. Importante acrescentar que o resfriamento ocorreu de forma lenta, mantendo a porta do forno fechada, até atingir temperatura ambiente.

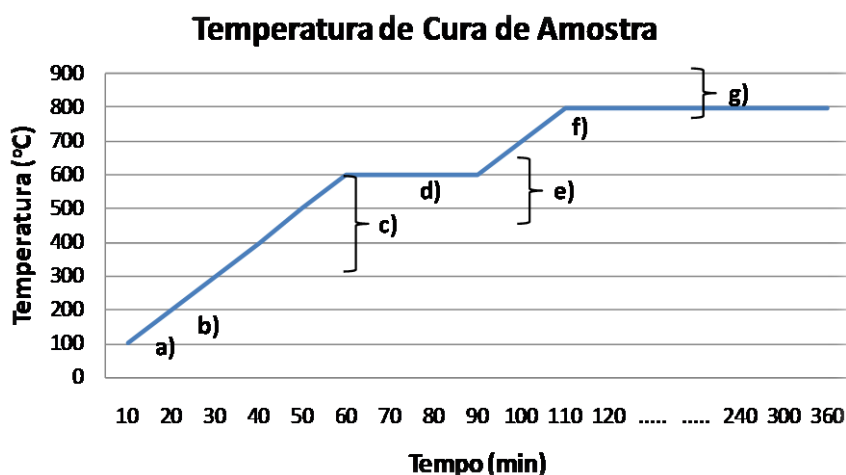


FIGURA 16 – REPRESENTAÇÃO DA CORRELAÇÃO TEMPO X TEMPERATURA DE CURA DAS AMOSTRAS EM FORNO E SUAS TRANSFORMAÇÕES EM DIFERENTES ESTÁGIOS

A seguir, apresenta-se uma visão geral das principais transformações que o produto final é submetido quando da aplicação de temperatura (DUTRA *et al.*, 2006 e BATISTA *et al.*, 2009)

- a) Até 100°C – ocorre a saída de água livre não eliminada na secagem;
- b) Cerca de 200°C – elimina-se água coloidal, intercalada entre as pequenas partículas de argila;
- c) De 350 a 650°C – combustão substâncias orgânicas contidas na argila;
- d) Cerca de 570°C – rápida transformação do quartzo;

- e) De 450 e 650°C – decomposição da argila com liberação de vapor, formando a dehidroxilação da argila, transformando em metacaulinita;
- f) Acima de 700°C – reações químicas da sílica com a alumina formando silicoaluminatos complexos (que dão ao corpo cerâmico característica de dureza, estabilidade, resistência física e química;
- g) acima de 800°C carbonatos se decompõem e liberam CO₂.

Após a queima, os CPs foram avaliados (análises físicas e químicas) em termos de sua resistência à flexão. Para tanto, as amostras foram direcionadas para o laboratório de ensaios mecânicos, utilizando máquina universal de ensaio, com avanço de 0,5 mm/min e célula de carga de 200 kN, para avaliação das amostras quanto aos valores de resistência à flexão. O valor de análise obtido no visor da máquina de ensaios universal consiste em um dado bruto e para tal foi processado, considerando cada amostra individualmente. O valor real de resistência à flexão dos CPs após queima foi obtido pela aplicação na Equação 1 – Cálculo da Tensão de Ruptura à Flexão.

Equação 1– Cálculo da Tensão de Ruptura à Flexão, expresso em MPa

$$R_f = (3F L) / (2b e^2),$$

Em que:

R_f – tensão de ruptura á flexão,

F – carga atingida no momento da ruptura,

L – distância entre os cutelos do apoio (4,5 cm),

e – espessura do CP, cm,

b – largura do CP, cm.

Os CPs testados foram colocados em dispositivo com dois pontos de apoio, conforme indicado na FIGURA 17 a) pelos números 2 e 3, e o ponto 1 o local de aplicação da força. Após a quebra da amostra, o valor obtido é registrado no visor do próprio equipamento, de onde se faz a leitura para posterior registro da informação obtida. A FIGURA 17 a) e b) representa esquematicamente como foi realizado o ensaio de resistência à flexão do corpo de prova após a queima.

Após realizar o ensaio foram avaliadas as características de retração linear do material prensado. Para o ensaio de retração linear, utilizou-se paquímetro (marca Digimess, 150 mm, precisão 0,05 mm) para realizar as medições de comprimento do corpo de prova. Após a queima, as amostras foram mantidas em ambiente com temperatura controlada de 25°C durante mínimo de 2 horas, para realizar as avaliações dimensionais.

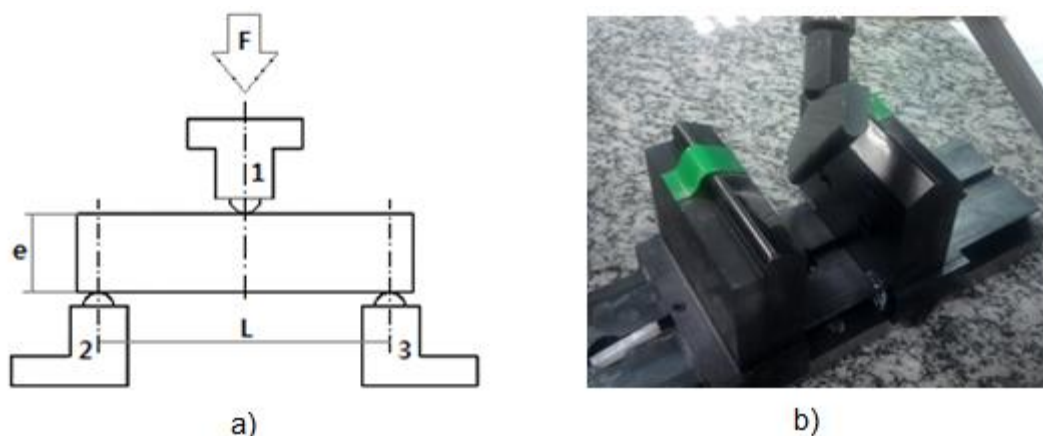


FIGURA 17 – a) REPRESENTAÇÃO DE REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO; b) DISPOSITIVO UTILIZADO PARA REALIZAR O ENSAIO

O valor obtido após a queima foi comparado com o valor inicial (dimensões da matriz de compactação – 60 x 20mm), obtendo assim sua diferença para identificar a retração linear, sendo o resultado obtido expresso em termos percentuais.

O ensaio de resistência à flexão foi realizado em máquina de ensaios universal EMIC, modelo DL10.000 com avanço de 0,5mm por minuto e com célula de carga de 200N, conforme NBR 13.818 de 04/1997. Para a realização do ensaio foi utilizado juntamente com a máquina universal o dispositivo de posicionamento do CP, FIGURA 17a.

Após a realização dessas análises, foi realizada avaliação das microestruturas obtidas pelo método de microanálise. Porém, como a cerâmica não apresenta característica condutiva e para a análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV – no aparelho da marca Shimadzu – SS5500II operando em 15 kV). é condição primordial, foi necessário fazer a metalização da superfície da cerâmica obtida, com ouro via equipamento SCD 030 Dalzers

Union SL9496 com evaporação catódica à vácuo. Pela análise de microestrutura é possível identificar se o material obtido apresenta aspecto visual uniforme, sem concentrações ou regiões de materiais não vitrificados ou até mesmo aglomerados de materiais cerâmicos não sinterizados. As magnitudes aplicadas estão identificadas em cada figura avaliada.

A partir da definição da amostra que apresentou a melhor característica de resistência à flexão, foram realizados os ensaios de solubilização (NBR 10006, 2004) e lixiviação (NBR 10005, 2004) para verificar os elementos químicos presentes na amostra analisada após queima em forno.

A Norma Brasileira (NBR 10005, 2004) utilizada para o ensaio de Lixiviação define o equipamento do tipo *jar-test*, de agitação contínua, velocidade indefinida, proporção resíduo/meio extrator (1:16). Esta norma utiliza como meio lixiviante água deionizada e controla o pH com ácido acético 0,5N (pH = 5). São utilizados 100g da amostra com tamanho inferior a 9mm, adiciona-se água deionizada e controlar o pH abaixo de 5 com solução de ácido acético. O frasco contendo o material de análise mais o líquido foi mantido sob agitação durante 18 horas à temperatura de 20°C, com rotação de 30 vezes por minuto em agitador rotatório. Depois desse período foi realizada filtração do produto e o extrato lixiviado é analisado via técnica de espectrometria de absorção atômica com atomização em chama. Os ensaios de lixiviação são realizados para determinar ou avaliar a estabilidade química dos resíduos e quando em contato com soluções aquosas, permite verificar o grau de imobilização de contaminante.

Para o ensaio de solubilização, a Norma Brasileira (NBR 10006, 2004) consiste em utilizar 250g da amostra analisada, triturada com tamanho abaixo de 9mm e misturá-la com 1000 ml de água destilada, sem correção de pH. A mistura permanece em repouso, sendo agitada manualmente de tempos em tempos, durante período de 7 dias. Após esse período, a amostra foi filtrada e o material obtido foi analisado. Este ensaio apresenta informação sobre a solubilidade dos compostos presentes nas amostras estudadas.

3.3. FORMULAÇÕES ESTUDADAS

Para desenvolver os estudos em relação aos materiais anteriormente mencionados, as pesquisas foram estabelecidas para a obtenção de formulações específicas. Foram adicionados baixos percentuais de resíduos incorporados à massa cerâmica. Para esse caso, o objetivo foi de identificar o comportamento do material obtido (cerâmica vermelha) quando de sua aplicação em processo, simulando a indústria de fabricação de tijolos.

O consumo mensal de material em um processo de fabricação de tijolo é muito grande e, apesar da quantidade mensal de lodo gerado ser considerável, o montante mensal é pequeno para ser absorvido por uma olaria. Assim sendo, para evitar modificação no processo de produção da olaria, devido ao abastecimento da matéria prima lodo ETE, foi desenvolvida formulação (como pode ser visto na TABELA 2) para manter constante o regime de produção da olaria, bem como evitar a modificação de parâmetros de processo.

A TABELA 2 apresenta a variação do percentual de lodo da indústria A entre 4 e 10%. A mesma proposição foi mantida para a MV, abrangendo todas as amostras testadas com o percentual de até 10%.

TABELA 2 – COMPOSIÇÃO PERCENTUAL DAS DIFERENTES AMOSTRAS CONSIDERANDO A UTILIZAÇÃO DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A

| Amostra | Lodo ETE A | Argila | Microesfera Vidro |
|----------------|-------------------|---------------|--------------------------|
| ETE-A1 | 4 | 92 | 4 |
| ETE-A2 | 4 | 90 | 6 |
| ETE-A3 | 4 | 88 | 8 |
| ETE-A4 | 4 | 86 | 10 |
| ETE-A5 | 6 | 90 | 4 |
| ETE-A6 | 6 | 88 | 6 |
| ETE-A7 | 6 | 86 | 8 |
| ETE-A8 | 6 | 84 | 10 |
| ETE-A9 | 8 | 88 | 4 |
| ETE-A10 | 8 | 86 | 6 |
| ETE-A11 | 8 | 84 | 8 |
| ETE-A12 | 8 | 82 | 10 |
| ETE-A13 | 10 | 86 | 4 |
| ETE-A14 | 10 | 84 | 6 |
| ETE-A15 | 10 | 82 | 8 |
| ETE-A16 | 10 | 80 | 10 |

FONTE: O autor (2013)

A quantidade de argila presente em cada formulação foi a diferença percentual entre os dois materiais adicionados. Essas formulações também foram estabelecidas para verificar o comportamento da mistura em diferentes faixas de temperaturas.

Na TABELA 3 constam os percentuais de matérias primas utilizados na preparação de cada amostra, considerando o lodo de indústria B.

TABELA 3 – COMPOSIÇÃO PERCENTUAL DAS DIFERENTES AMOSTRAS CONSIDERANDO A UTILIZAÇÃO DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B E INCORPORAÇÃO DE OUTROS RESÍDUOS

| Amostra | Lodo ETE B | Argila | Cinza de Madeira | Microesfera Vidro | Entulho |
|----------------|-------------------|---------------|-------------------------|--------------------------|----------------|
| ETE-B1 | 50 | 30 | 20 | --- | --- |
| ETE-B2 | 40 | 40 | 20 | --- | --- |
| ETE-B3 | 40 | 40 | 10 | 10 | --- |
| ETE-B4 | 50 | 30 | 10 | 10 | --- |
| ETE-B5 | 4 | 86 | --- | 10 | --- |
| ETE-B6 | 6 | 84 | --- | 10 | --- |
| ETE-B7 | 40 | 50 | --- | --- | 10 |
| ETE-B8 | 40 | 45 | --- | --- | 15 |
| ETE-B9 | 40 | 40 | --- | --- | 20 |
| Argila | --- | 100 | --- | --- | --- |

FONTE: O autor (2013)

Para esta bateria de amostras, além do vidro, foram incorporados cinza de madeira e/ou entulho na sua respectiva composição.

Para a formulação apresentada na TABELA 03 o objetivo foi aplicar maiores percentuais do resíduo (Lodo de ETE da INDÚSTRIA B), associado em diferentes percentuais com o resíduo Cinza de Madeira, o resíduo de MV e o resíduo de entulho. A adição de Argila foi considerada como a diferença entre os resíduos propostos em cada formulação.

As formulações denominadas ETE-B5 e ETE-B6 foram estabelecidas para fazer comparação entre o Lodo de ETE da Indústria A e o Lodo de ETE da Indústria B.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos nas análises realizadas durante o desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente foi apresentada a caracterização das amostras de cada material proposto para a realização do trabalho. A discussão dos resultados se estende para as análises de DRX e FRX, que permitiram identificar a composição dos elementos químicos presentes nos materiais avaliados. A definição das formulações testadas também foi discutida neste capítulo, pois somente foi possível estabelecê-las a partir do momento que os materiais aplicados fossem caracterizados. Por fim, será apresentada a análise que culmina na obtenção de uma cerâmica considerando a incorporação das matérias primas avaliadas inicialmente, no processo de fabricação cerâmica.

4.1. ANÁLISE DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

A Análise de Aspectos e Impactos Ambientais (AIA) é uma solicitação estabelecida no Capítulo 4 Requisitos do SGA da norma NBR 14001 (2004) subitem 4.3.1, que obriga as organizações (detentoras de certificação ambiental) a identificar os aspectos que apresentam ou possam apresentar impactos significativos ao meio ambiente onde estão inseridas.

Considerando a análise do processo de pintura e a necessidade de utilização de produtos químicos, a seguir foram apresentados, de forma macro, os principais aspectos e impactos ambientais identificados para cada estágio que compõe o processo de tratamento de superfícies (TTS).

Na TABELA 4 podem ser observados os principais aspectos e impactos ambientais - AIA identificados no processo de desengraxe e enxágue que correspondem aos primeiros estágios do processo de tratamento de superfície.

TABELA 4 – ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS IDENTIFICADOS NOS PROCESSOS DE DESENGRAXE E ENXÁGUE DO TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE

| Aspecto Ambiental | Impacto Ambiental |
|---|--|
| Consumo de Água (preparação de banhos e reposição de nível) | Geração de resíduos líquidos e na forma de emissão de vapores gasosos |
| Consumo de gás (aquecimento de banhos) | Emissão de calor e emissões atmosféricas para o meio ambiente |
| Consumo de produtos químicos (desengraxante) na preparação de banhos e reposição de nível | Geração de resíduos sólidos suspensos / dissolvidos ou não nos efluentes, na forma dos elementos Fe, Al, Zn, B, Ca, Na e/ou DQO. |
| Consumo de Energia Elétrica | Geração de ruído/vibrações / emissão calor |

FONTE: O autor (2013)

Da mesma forma como no estágio do desengraxe alcalino, estão representados na TABELA 5 abaixo os principais aspectos e impactos ambientais dos processos de ativação, fosfatização e enxágue pós fosfato.

TABELA 5 – ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS IDENTIFICADOS NOS PROCESSOS DE ATIVAÇÃO, FOSFATIZAÇÃO E ENXÁGUE PÓS FOSFATO DO TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE

| Aspecto Ambiental | Impacto Ambiental |
|---|--|
| Consumo de Água (preparação de banhos e reposição de nível) | Geração de resíduos líquidos e na forma de emissão de vapores |
| Consumo de gás (aquecimento de banhos) | Emissão de calor e emissões atmosféricas para o meio ambiente |
| Consumo de produtos químicos (desengraxante) na preparação de banhos e reposição de nível | Geração de resíduos sólidos suspensos e/ou dissolvidos, ou não, nos efluentes sob a forma borras, contendo Fe, Zn, Mn, Ni, Ti, entre outros. |
| Consumo de Energia Elétrica | Geração de ruído/vibrações/emissão calor |

FONTE: O autor (2013)

Na TABELA 6 é apresentado um resumo dos aspectos e impactos ambientais do estágio do processo de cataforese e enxágue.

TABELA 6 – ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS IDENTIFICADOS NOS PROCESSOS DE CATAFORESE E ENXÁGUE

| Aspecto Ambiental | Impacto Ambiental |
|---|---|
| Consumo de Água (preparação de banhos e reposição de nível) | Geração de resíduos líquidos e na forma de emissão de vapores |
| Consumo de gás (aquecimento de banhos) | Emissão de calor e emissões atmosféricas para o meio ambiente |
| Consumo de produtos químicos (desengraxante) na preparação de banhos e reposição de nível | Geração de resíduos sólidos suspensos / dissolvidos ou não, nos efluentes, na forma de elementos Fe, Pb, Sn, Ca, Na, DQO muito elevada. Emissão de COV (compostos orgânicos voláteis) |
| Consumo de Energia Elétrica | Geração de ruído/vibrações/ emissão calor |

FONTE: O autor (2013)

Diante das constatações realizadas no processo produtivo, foi identificado que, no momento de lançamento do efluente para realizar o tratamento na ETE (estação de tratamento de efluentes), existe a possibilidade de ocorrer mistura de produtos de diferentes estágios (apesar de haver compatibilidade química entre eles) antes mesmo do resíduo chegar à ETE. Portanto, o resíduo gerado no final do processo, consiste na mistura de produtos químicos que, seja individual ou coletivamente, corroboram para que o mesmo seja caracterizado como Classe I – Resíduo Perigoso, conforme a preconização estabelecida na Norma NBR 10.004 (2004). Os elementos que se caracterizam como tal podem ser observados nos 3 principais estágios do processo, que são o desengraxe, a fosfatização e a aplicação de cataforese.

Sob o ponto de vista crítico do processo, e levando em consideração a preconização estabelecida na NBR 14.001 (2004), elementos como Zn, B, Mn, Pb, Sn, Ni e Ti, que estão presentes nas formulações dos banhos de desengraxe, fosfatização e cataforese, são substâncias que apresentam constante preocupação tanto na troca de banhos (quando os efluentes são lançados em canaletas para serem direcionadas para a ETE) quanto nas etapas do processo de tratamento dos efluentes.

Esta análise preliminar de aspecto e impacto ambiental apresentada nas TABELAS 4, 5 e 6 foi elaborada no intuito de evidenciar e mapear os

principais elementos químicos que estão presentes nos diferentes estágios do processo e que tornam o processo de pintura uma atividade com significativo impacto ambiental.

4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para identificar a característica de cada componente presente nos materiais utilizados para formulação foram realizadas análises a fim de estabelecer a formulação a ser aplicada em cada amostra e para isso foram realizadas análises por tipo de material. As análises de DRX e FRX, assim como a PF foram realizadas no laboratório LAMIR (Laboratório de Mineralogia) da UFPR. As análises de microscopia eletrônica (fotos) foram realizadas na DIMAT (laboratório de materiais da empresa Renault do Brasil).

4.2.1. Argila

O primeiro dos materiais avaliados foi a argila coletada no município de Joinville – SC (Santa Catarina). A FIGURA 18 apresenta o resultado da análise da composição mineralógica via DRX do material argila.

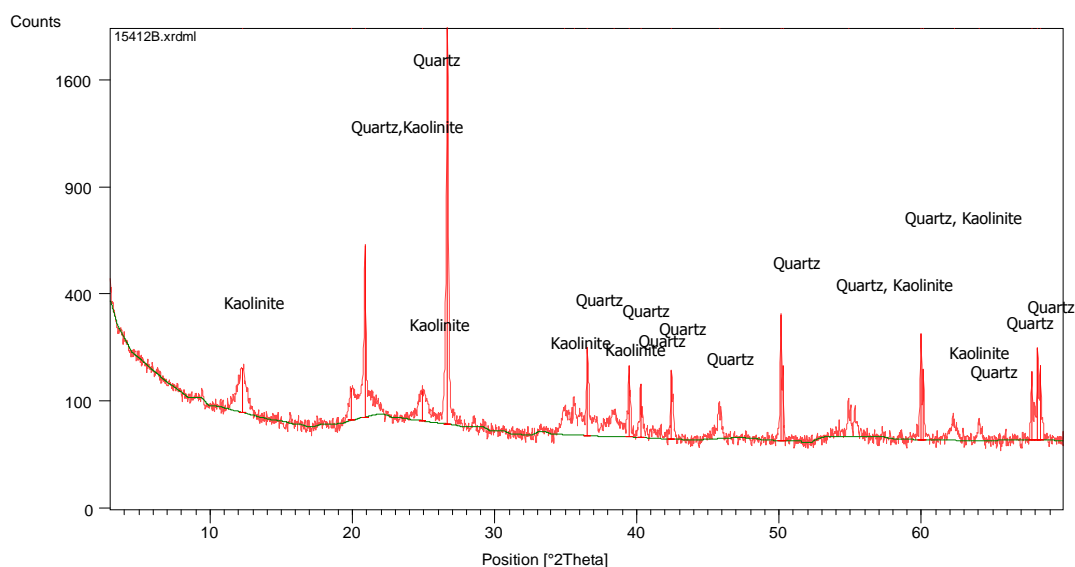


FIGURA 18 – REPRESENTAÇÃO DO DRX DA ARGILA, QUE APRESENTA AS ESTRUTURAS CRISTALINAS DA CAOLINITA E QUARTZO

Diante da análise de DRX, a Argila de SC apresentou as seguintes estruturas cristalinas: caolinita ($\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e quartzo (SiO_2). O material analisado apresenta coloração levemente amarelada. Na análise de FRX realizada com o material argila de SC, foram obtidos os resultados apresentados na TABELA 7.

TABELA 7 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ARGILA COLETADA EM SC, REALIZADA POR MEIO DE FRX

| Elemento | Percentual | Elemento | Percentual | Elemento | Percentual |
|-------------------------|------------|----------------------|------------|------------------------|------------|
| SiO_2 | 56,9 | MgO | 1,0 | SO_3 | 0,1 |
| Al_2O_3 | 21,9 | K_2O | 0,9 | P_2O_5 | 0,1 |
| Fe_2O_3 | 10,2 | CaO | 0,2 | P. F. | 6,95 |
| TiO_2 | 1,6 | ZrO_2 | 0,1 | | |

FONTE: O autor (2013)

Devido a configuração de fundo do respectivo difractograma (FIGURA 18), a amostra apresenta considerável quantidade de material amorfo, característico de material argiloso. Este fato também se confirma pela presença significativa de substâncias como o SiO_2 e o Al_2O_3 . Quantidade significativa do elemento Fe_2O_3 também está presente na amostra. A perda ao fogo (P.F.) do material analisado apresenta valor relativamente baixo (6,95%), o que demonstra pouca matéria orgânica presente na amostra, e que foi queimada durante a realização do ensaio. Teores de TiO_2 (1,6%) e MgO (1,0%) também foram identificados na amostra analisada.

Nas FIGURAS 19 a) e b) são apresentadas micrografias da argila coletada em SC (*in natura*), observada por meio de análise em MEV. Identificou bem o formato de folhelhos tanto na FIGURA 19 a) com aumento de 1000x, como na FIGURA 19 b) com aumento de 5000x, esse efeito foi mais pronunciado.

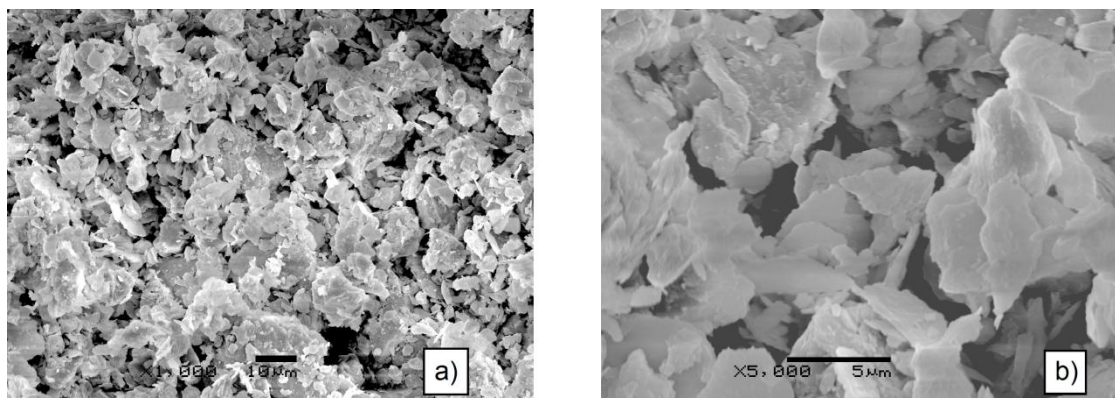


FIGURA 19 – a) ANÁLISE MORFOLÓGICA DA ARGILA SC REALIZADA VIA MEV A 1000X, E b) REALIZADA A 5000X

Conforme definido por Santos (1989), as propriedades cerâmicas para a caulinita, consideram que a tensão de ruptura à flexão está entre 0,07 a 5,0 MPa e sua retração linear após a queima (em percentual) está entre 2 a 17%.

4.2.2. Lodo de ETE da INDÚSTRIA A

Consiste no resíduo precipitado do processo físico-químico de tratamento de efluentes e separado/coletado em container adequado, no final do processo de tratamento de efluentes. O material coletado apresenta coloração marrom claro, cheiro forte e característico. A FIGURA 20 apresenta o DRX obtido pela análise do lodo de ETE da INDÚSTRIA A.

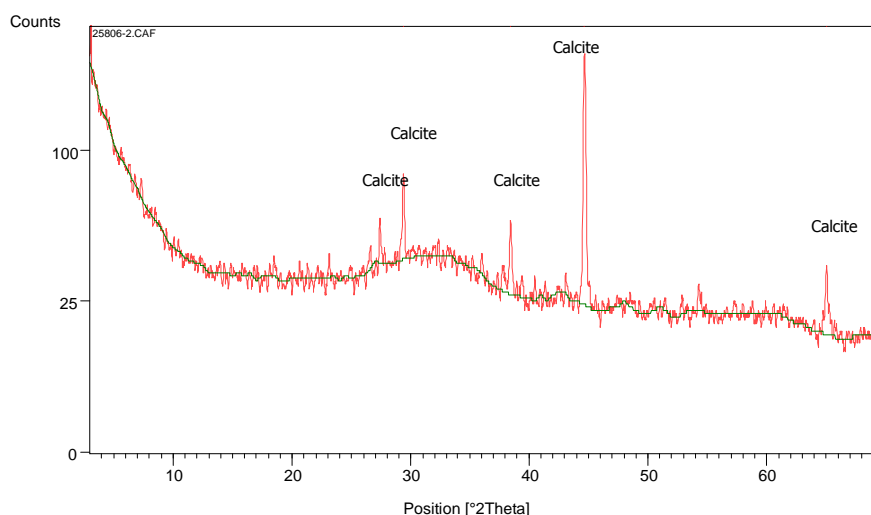


FIGURA 20 – DIFRATOMETRIA DE RAIOS X DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A, QUE APRESENTA A ESTRUTURA CRISTALINA DA CALCITA

O difractograma demonstrou a presença de teor considerável de material amorfo, representado pela elevada linha de fundo, e pela presença de inclusões de calcita, identificada pelos picos apresentados no gráfico.

A análise do difractograma da FIGURA 20 indicou a presença da estrutura cristalina calcita com pequenas inclusões de Kamacita (Fe e Ni), Alumínio (Al) e Calcopirita (Cu, Fe e S₂). Da mesma forma, como apresentado na análise da argila, o gráfico de lodo também indicou presença de material amorfo, evidenciado devido a altura da linha de fundo apresentada na FIGURA 20.

Na TABELA 8, constam os valores percentuais dos elementos obtidos na análise de FRX, do respectivo Lodo de ETE da INDÚSTRIA A.

TABELA 8 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A REALIZADA POR MEIO DE FRX

| Elemento | Percentual | Elemento | Percentual | Elemento | Percentual |
|--------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|
| SiO ₂ | 1,85 | MgO | 1,08 | SO ₃ | 0,40 |
| Al ₂ O ₃ | 0,59 | K ₂ O | 0,28 | P ₂ O ₅ | 10,73 |
| Fe ₂ O ₃ | 21,32 | CaO | 10,56 | MnO | 0,61 |
| TiO ₂ | 3,53 | Ni | 0,64 | Zn | 1,77 |
| Sn | 0,30 | Pb | 0,33 | P.F. | 45,38 |

FONTE: O autor (2012)

No lodo avaliado se observou a presença de materiais classificados como metais pesados, mais precisamente o Pb (0,33%) oriundo do banho de cataforese, Zn (1,77%) e Ni (0,64%) proveniente do banho de fosfato. Outros elementos com quantidades significativas também foram observados, como foi o caso de Fe₂O₃ (21,32%) proveniente do material depositado no fundo das cubas dos banhos de fosfato (óxido de ferro) e do coagulante utilizado no processo de tratamento de efluentes industriais (etapa de coagulação e floculação do efluente para remoção de elementos dissolvidos) e o P₂O₅ (10,73%) proveniente dos banhos de fosfato.

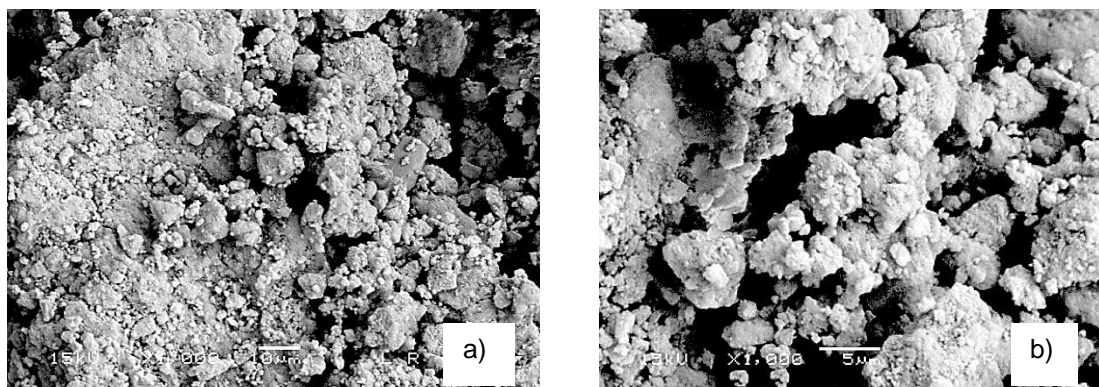


FIGURA 21 – a) ANÁLISE MORFOLÓGICA DO LODO ETE DA INDÚSTRIA A VIA MEV A 1000X E b) A 1000X, EM UM SEGUNDO PONTO

O elemento CaO também apresentou quantidade significativa de material na caracterização do resíduo, que tem origem no processo de aumento do pH da solução em tratamento, pela utilização da leite de cal, na ETE. As FIGURAS 21 a) e 21 b) representam a micrografia do material analisado. O teor de TiO_2 encontrado (3,53%) no Lodo de ETE da INDÚSTRIA A corresponde ao material adicionado no banho de ativação, anterior ao banho de fosfato. A perda ao fogo de 45,38% do respectivo material foi considerada elevada, caracterizando como material rico em umidade e carga orgânica, proveniente pela presença de óleos. Durante o ensaio, ocorre a queima de CaCO_3 transformando-se em CaO e CO_2 , que é liberado para atmosfera.

4.2.3. Lodo de ETE da INDÚSTRIA B

A seguir, na FIGURA 22, evidencia-se a decifração da composição mineralógica do difractograma da análise de DRX da amostra de lodo de ETE da INDÚSTRIA B, sendo a estrutura predominante a calcita.

Observam-se valores importantes de Fe_2O_3 (18,4%) e CaO (25,9%), e da mesma forma como no caso do lodo de ETE da INDÚSTRIA A, o ferro tem origem no banho de fosfato e no coagulante utilizado no processo de tratamento de efluentes. O CaO foi influenciado pela utilização de leite de cal no processo de tratamento de efluentes, na etapa de aumento de pH do efluente.

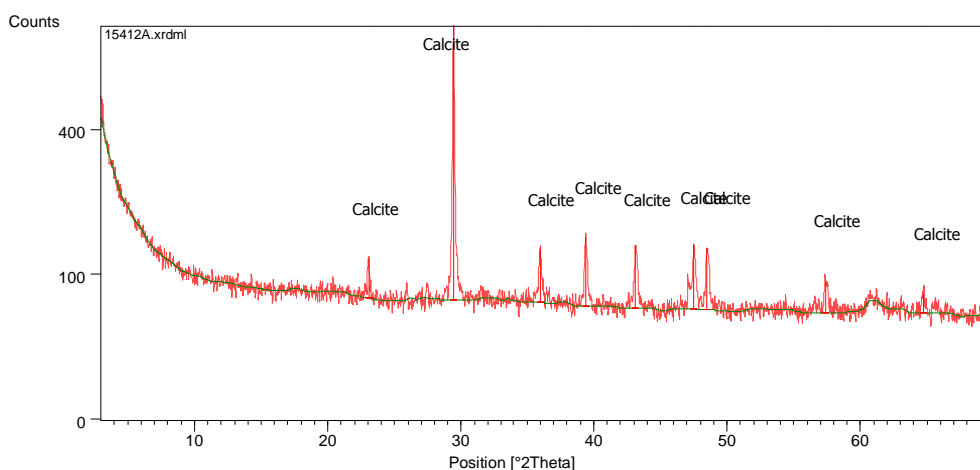


FIGURA 22 – DIFRACTOGRAMA DE RAIOS X DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B

Segue na TABELA 9 a Composição Química do Lodo de ETE da INDÚSTRIA B realizada por meio de análise de Fluorescência de Raios X.

TABELA 9 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B REALIZADA POR MEIO DE FRX

| Elemento | Percentual | Elemento | Percentual | Elemento | Percentual |
|--------------------------------|------------|------------------|------------|-------------------------------|------------|
| SiO ₂ | 3,1 | MgO | 2,1 | P ₂ O ₅ | 0,6 |
| Al ₂ O ₃ | 1,1 | K ₂ O | 0,1 | ZnO | 0,3 |
| Fe ₂ O ₃ | 18,4 | SO ₃ | 0,9 | Na ₂ O | 0,4 |
| TiO ₂ | 1,1 | BaO | 1,1 | MnO | 0,1 |
| CaO | 25,9 | Ni | 0,1 | P.F. | 44,46 |

FONTE: O autor (2012)

A perda ao fogo do Lodo de ETE da INDÚSTRIA B também foi elevada (44,46%), caracterizando o material com significativo teor de umidade e carga orgânica, assim como óleo e da mesma forma como no item anterior, a perda ao fogo transforma o CaCO₃ em CaO e CO₂. Outros elementos que aparecem com percentual relativamente importantes são o MgO (2,1%) proveniente do banho de desengraxe, BaO e TiO₂ (1,1%) provenientes do banho de desengraxe e ativação respectivamente, P₂O₅ (0,6%) e ZnO (0,3%), ambos oriundos do banho de fosfatização.

As FIGURAS 23a) e 23b) representam a micrografia do lodo de ETE da Indústria B, com diferentes magnitudes de observação.

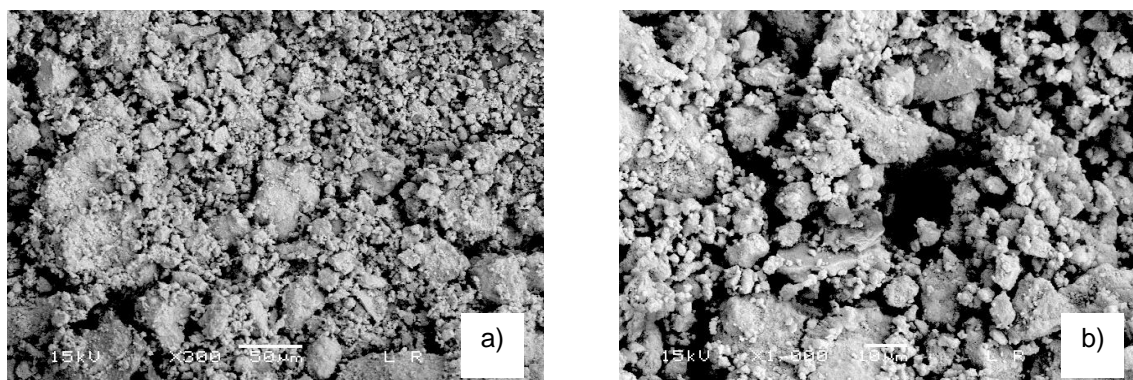


FIGURA 23 – a) ANÁLISE MORFOLÓGICA DO LODO ETE DA INDÚSTRIA B VIA MEV COM AUMENTO DE 300X; b) COM AUMENTO DE 1000X

Observou-se o formato do material coletado e seu aspecto, que demonstrou boa aglomeração proporcionado pelo processo de prensagem, na separação entre sólido e líquido no filtro prensa.

4.2.4. Vidro

É o material proveniente da moagem das MV. Na FIGURA 24 está a análise da DRX realizada na respectiva amostra.

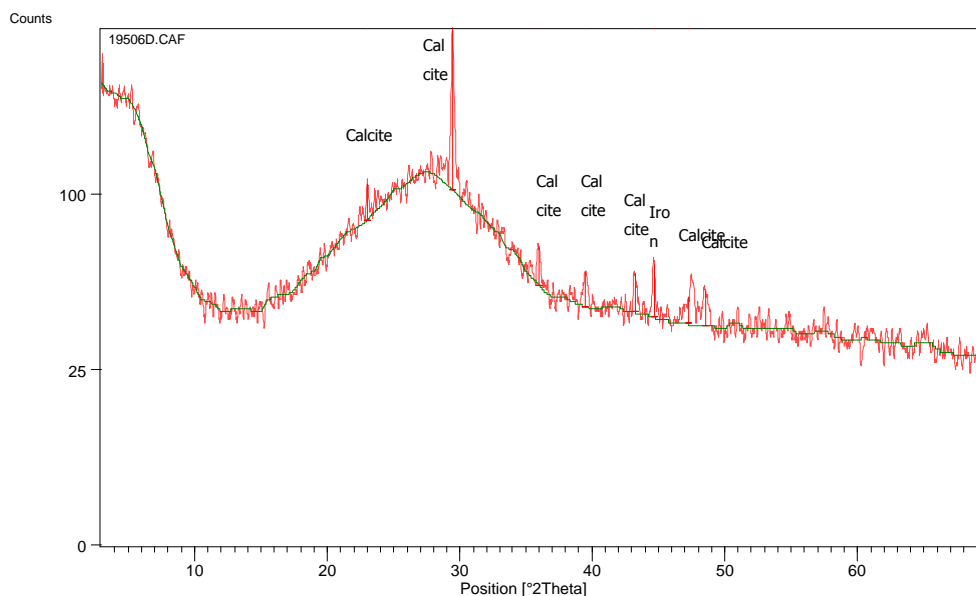


FIGURA 24 – DIFRACTOGRAMA DE RAO X DO VIDRO (MV)

A estrutura cristalina presente na amostra foi a calcita com um pico de ferro (proveniente do uso das microesferas), além da presença de elementos amorfos. Sua coloração quando na forma de MV (resíduo gerado) é ligeiramente bege claro, e quando moído, apresenta coloração branca. O material testado não apresenta nenhum tipo de odor.

Na TABELA 10 é apresentada a análise de FRX realizada na amostra de MV moídas. A análise de FRX realizada na amostra de vidro moído, identificou a presença dos elementos SiO_2 (67,82%), Na_2O (9,08%), CaO (6,90%) e MgO (2,99%), todos eles presentes na formulação do vidro, neste caso as microesferas de vidro. Também foi identificada a presença de Fe_2O_3 (0,22%), característico de traços do material metálico presente junto as microesferas de vidro. O valor observado na análise de perda ao fogo do vidro moído foi de 11,98%, portanto caracterizado como material contendo teor importante de umidade e relativamente higroscópico.

TABELA 10 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO VIDRO COLETADO EM INDÚSTRIA METAL MECÂNICA DA RMC, REALIZADA POR MEIO DE FRX

| Elemento | Percentual | Elemento | Percentual | Elemento | Percentual |
|-------------------------|------------|----------------------|------------|-----------------------|------------|
| SiO_2 | 67,82 | MgO | 2,99 | SO_3 | 0,27 |
| Al_2O_3 | 0,57 | K_2O | 0,15 | Na_2O | 9,08 |
| Fe_2O_3 | 0,22 | CaO | 6,90 | P.F. | 11,98 |

Fonte: O autor (2012)

Nas FIGURAS 25a e 25b constam resultados das análises micrográficas (estrutura morfológica), obtidas via MEV, da amostra vidro coletada diretamente na fonte. Na FIGURA 25a observou-se a presença de uma esfera grande e várias de pequena dimensão. Também se observou quantidade apreciável de pequenas partículas com morfologia irregular, que foram provenientes de restos do material que foi submetido ao processo de jateamento (para limpeza e remoção de impurezas superficiais), motivo pelo qual o material foi considerado como resíduo industrial, após o uso.

A FIGURA 25b representa ampliação diretamente sobre a superfície da esfera maior, onde se observa a adesão superficial de pequenas partículas com aspecto irregular.

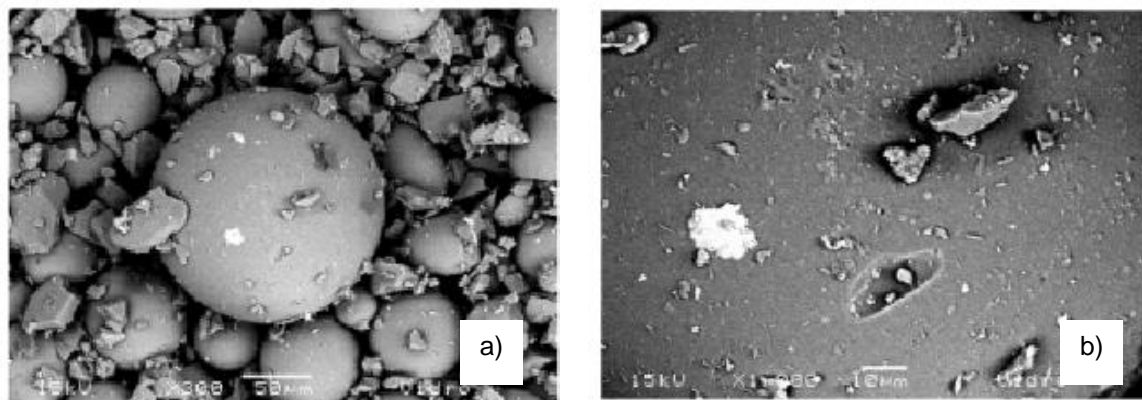


FIGURA 25 – a) ANÁLISE MORFOLÓGICA DA MV REALIZADA VIA MEV, AMPLIAÇÃO DE 300X, E b) AMPLIAÇÃO DE 1000X, SOBRE ESFERA DE MAIOR DIÂMETRO

4.2.5. Entulho

Material coletado em empresa que recebe resíduos de demolições e da construção civil, no município de Ponta Grossa. O entulho apresentou coloração variada por ser constituído de uma mistura de materiais.

A FIGURA 26 apresenta o difractograma desse resíduo com uma linha de fundo de materiais amorfos e as estruturas cristalinas presentes.

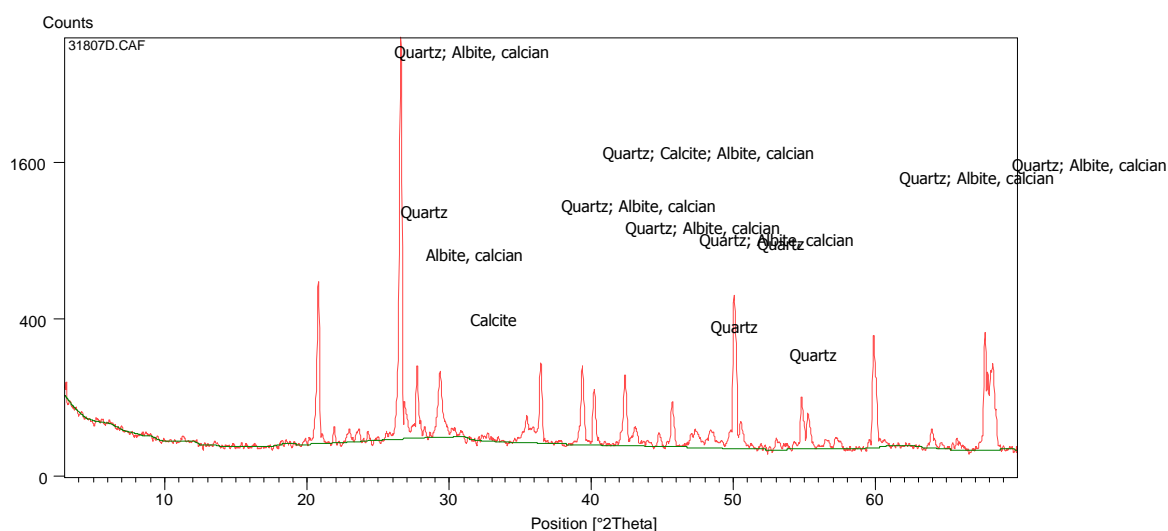


FIGURA 26 – DIFRACTOGRAMA DE RAO X DO ENTULHO

As estruturas cristalinas identificadas foram a albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), calcita (CaCO_3) e Quartzo (SiO_2). Na forma como foi obtido, o resíduo apresentou fragmentos de cores vermelhos, brancos, cinzas e pontos pretos. Após moído, sua coloração característica se apresentou como um tom avermelhado, tendendo para marrom.

A TABELA 11 constam os materiais que foram identificados na análise de fluorescência de Raio X.

TABELA 11 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ENTULHO COLETADO NA REGIÃO DE PONTA GROSSA, REALIZADA POR MEIO DE FRX

| Elemento | Percentual | Elemento | Percentual | Elemento | Percentual |
|-------------------------|------------|----------------------|------------|------------------------|------------|
| SiO_2 | 67,02 | MgO | 1,37 | SO_3 | 0,58 |
| Al_2O_3 | 6,3 | K_2O | 0,67 | P_2O_5 | 0,11 |
| Fe_2O_3 | 3,85 | CaO | 11,54 | TiO_2 | 0,64 |
| Sr | 0,03 | Zr | 0,03 | Na_2O | 0,29 |
| P.F. | 7,57 | | | | |

Fonte: O autor (2012)

Nas FIGURAS 27a e 27b observou-se a micrografia do material entulho, analisado. Morfologicamente, se constatou uma grande variedade de formas e tamanhos de materiais nele presente, característico do processo de trituração ao qual foi submetido. A micrografia foi resultado da análise do material tal qual foi fornecido pela fonte de fornecimento.

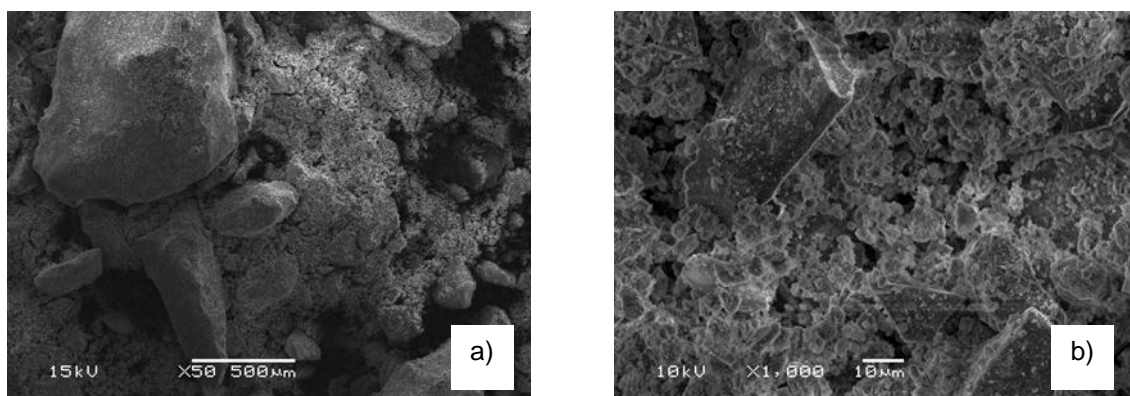


FIGURA 27 – a) ANÁLISE MORFOLÓGICA DO ENTULHO REALIZADA VIA MEV, AUMENTO DE 50X, E b) AUMENTO DE 1000X

As figuras apresentadas constituem a micrografia do material como foi recebido no laboratório, em que se evidencia uma característica não uniforme dos seus constituintes, motivo pelo qual o mesmo foi moído.

Pela análise de DRX apresentado na FIGURA 26, identifica-se que a amostra apresenta considerável quantidade de material amorfo, evidenciado pela linha de fundo, presente no respectivo difractograma. A análise de FRX evidenciou a presença de SiO_2 com 67,02% além da presença de CaO (11,54%) e Al_2O_3 (6,3%) também de forma significativas. Os elementos como Fe, Mg e Ca são elementos clássicos, e que estão presentes nas formulações ou nos materiais aplicados na indústria de construção civil e que podem apresentar origem nas matérias primas extraídas na natureza (como argila). E, por fim, a perda ao fogo foi identificada com valor de 7,57%.

4.2.6. Cinza de Madeira

As cinzas foram materiais coletados do processo de queima de madeira utilizadas para gerar calor, no caso específico, proveniente dos fornos das olarias. A coloração do material obtido é preta e não apresentou nenhum odor. Na FIGURA 28 foi apresentado o difractograma da análise do respectivo material, que evidencia a presença de fases cristalinas e amorfas, devido a escala de fundo do respectivo gráfico. O DRX apresentou a decifração da composição mineralógica da cinza de madeira. Nele se observam as estruturas cristalinas de Quartzo – SiO_2 , Portlandita – $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Magnesita – MgCO_3 , Ankerita – $\text{CaFe}(\text{CO}_3)$ e Dolomita – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

Conforme apresentam da Silva *et al.* (1999), a composição química da cinza é caracterizada pela presença de quantidade significativa de SiO_2 e CaO e quantidades importantes de K_2O e MgO . A quantidade elevada de CaO (15,0%) está relacionada a carbonato e hidróxido de cálcio enquanto o SiO_2 (45,3%) está associado com a fase cristalina quartzo. A baixa porcentagem de perda ao fogo (1,28% em peso) indica uma fração muito baixa de materiais que podem ser queimados e que ainda estão presentes no material. O teor relativamente elevado de K_2O (8,2%) mostra que a cinza pode apresentar característica de material fundente e pode contribuir para melhorar as

propriedades de queima através da redução da porosidade pela formação de fase líquida em reação com SiO_2 e Al_2O_3 (13,2%). O MgO presente no resíduo (3,2%) também pode atuar como fundente durante a etapa de queima. A cinza apresentou ainda traços de TiO_2 (1,2%), MnO (1,1%) e P_2O_3 (1,9%).

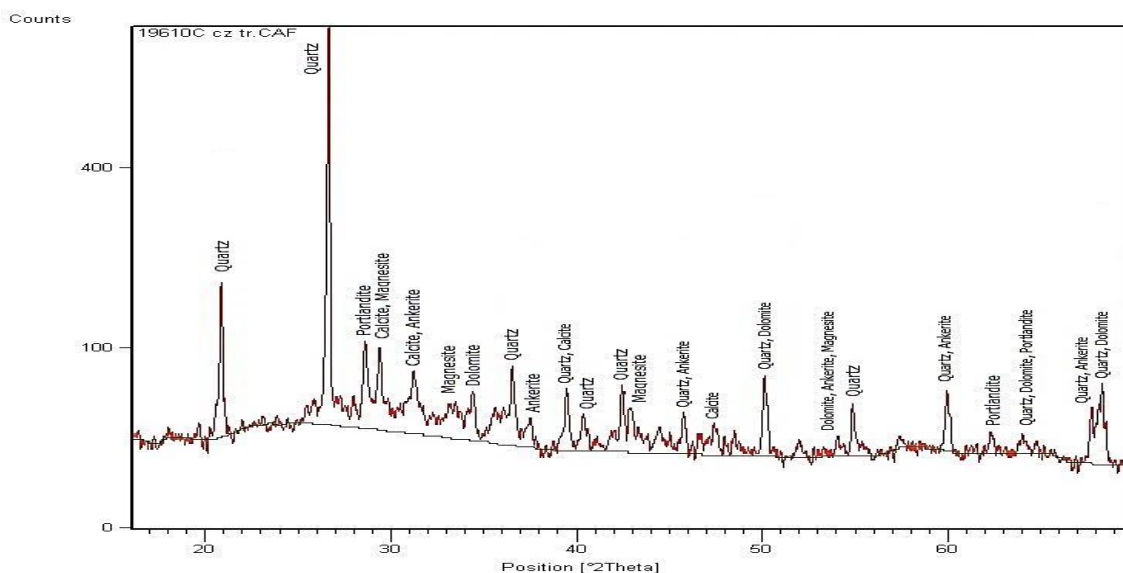


FIGURA 28 – REPRESENTAÇÃO DO DIFRACTOGRAMA DE RAIOS X DA CINZA DE MADEIRA

Na TABELA 12 é apresentada a análise de FRX realizada no material denominado cinza de madeira.

TABELA 12 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA CINZA DE MADEIRA REALIZADA POR MEIO DE FRX

| Elemento | Percentual | Elemento | Percentual | Elemento | Percentual |
|-------------------------|------------|-----------------------|------------|------------------------|------------|
| SiO_2 | 45,3 | MgO | 3,2 | SO_3 | 1,3 |
| Al_2O_3 | 13,2 | K_2O | 8,1 | P_2O_5 | 1,9 |
| Fe_2O_3 | 7,6 | CaO | 15,0 | BaO | 0,2 |
| TiO_2 | 1,2 | Na_2O | 0,3 | MnO | 1,1 |
| P.F. | 1,28 | | | | |

Fonte: O autor (2012)

Nas FIGURAS 29a) e 29b) são apresentadas as análises morfológicas realizada via MEV do material Cinza de Madeira. Na FIGURA 29 a) constatou-

se que a amostra é constituída por partículas irregulares que se assemelham a forma de pequenos cristais com anatomia de veios de madeira queimada.

Na FIGURA 29b) observou-se que o material queimado ainda permanece com pequenas partes intactas, pois a morfologia apresentada ao centro dessa imagem, na forma de canais e paredes, é característica de material que não teve queima completa. Ao seu redor a morfologia identificada não foi homogênea e se apresentou sob a forma de finos ou material particulado. Apesar da constatação de que ainda existe material que não teve queima completa, o resíduo apresentou teor de perda ao fogo de 1,28%.

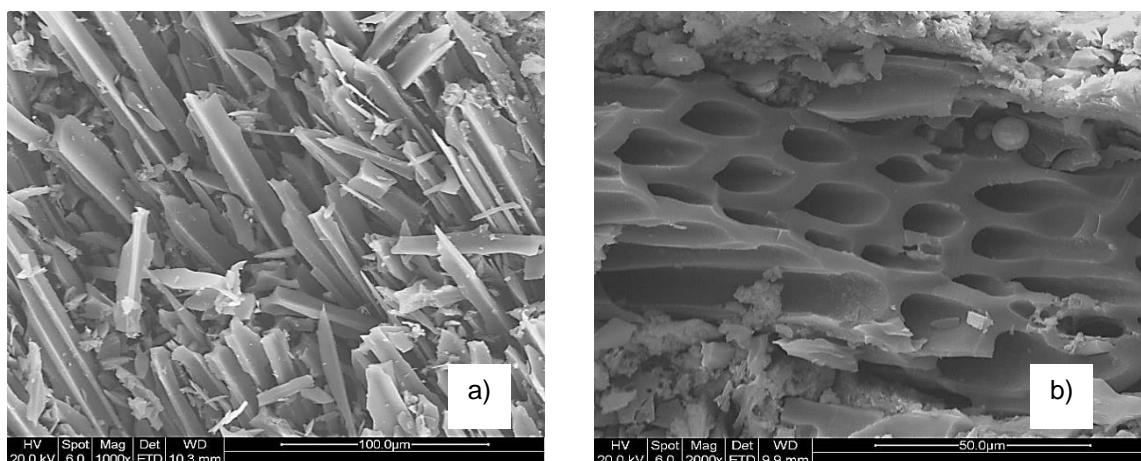


FIGURA 29 a) ANÁLISE MORFOLÓGICA DA CINZA MADEIRA REALIZADA VIA MEV E AMPLIAÇÃO DE 1000X, E b) AMPLIAÇÃO DE 2000X

4.3. ANÁLISES REALIZADAS COM LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A

4.3.1. Ensaio de Resistência à Flexão – Lodo de ETE da Indústria A

A TABELA 13 abaixo apresenta os valores obtidos em ensaios de resistência à flexão dos corpos de prova testados em máquina de ensaio universal, para cada formulação utilizada.

A coluna Amostra consiste na numeração atribuída a cada formulação de amostra. A coluna Composição foi composta pelos materiais que formaram o produto final, objeto do respectivo trabalho. Também apresentou o percentual atribuído para cada elemento em função da numeração atribuída a cada

amostra. A coluna Temperatura apresenta as temperaturas as quais cada composição foi submetida, permanecendo nesta temperatura por intervalo de 6 horas.

Pela avaliação dos dados obtidos em cada amostra analisada, observou-se que, de maneira geral, o aumento da temperatura de queima contribuiu para o aumento da resistência a flexão da amostra.

TABELA 13 – RESISTÊNCIA À FLEXÃO DAS AMOSTRAS DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A APÓS QUEIMA EM FORNO

| Amostra | Composição (%) | | | Resistência à Flexão (MPa) | | | |
|---------|----------------|--------|--------------|----------------------------|-------|-------|-------|
| | Lodo | Argila | Micro Esfera | 700°C | 750°C | 800°C | 850°C |
| ETE-A1 | 4 | 92 | 4 | 6,22 | 4,65 | 7,60 | 8,74 |
| ETE-A2 | 4 | 90 | 6 | 5,17 | 5,13 | 6,91 | 7,60 |
| ETE-A3 | 4 | 88 | 8 | 6,06 | 5,31 | 6,70 | 7,39 |
| ETE-A4 | 4 | 86 | 10 | 5,19 | 5,47 | 7,17 | 8,00 |
| ETE-A5 | 6 | 90 | 4 | 5,29 | 6,02 | 6,73 | 7,63 |
| ETE-A6 | 6 | 88 | 6 | 5,22 | 5,75 | 6,66 | 8,40 |
| ETE-A7 | 6 | 86 | 8 | 4,59 | 4,98 | 6,49 | 9,43 |
| ETE-A8 | 6 | 84 | 10 | 5,07 | 5,17 | 6,50 | 7,19 |
| ETE-A9 | 8 | 88 | 4 | 4,35 | 5,41 | 7,39 | 8,17 |
| ETE-A10 | 8 | 86 | 6 | 5,53 | 5,10 | 6,02 | 8,23 |
| ETE-A11 | 8 | 84 | 8 | 5,19 | 4,77 | 6,96 | 7,40 |
| ETE-A12 | 8 | 82 | 10 | 4,58 | 5,21 | 6,82 | 7,28 |
| ETE-A13 | 10 | 86 | 4 | 4,17 | 5,09 | 6,35 | 7,15 |
| ETE-A14 | 10 | 84 | 6 | 4,19 | 5,29 | 7,42 | 7,98 |
| ETE-A15 | 10 | 82 | 8 | 4,94 | 5,10 | 7,14 | 7,40 |
| ETE-A16 | 10 | 80 | 10 | 4,89 | 5,08 | 6,41 | 7,72 |

Fonte: O autor (2012)

Pela FIGURA 30, observou-se o difractograma da ETE-A7 queimada a 850°C durante 6 horas com lodo de ETE da Indústria A.

A título de informação, seguem as denominações utilizadas nos difractogramas, bem como sua respectiva formulação. Quartzo (SiO_2), Anortita ($(\text{Ca},\text{Na})(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_8$), Thenardita (Na_2SO_4), Hematita (Fe_2O_3), Mulita ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$), Tamarugita ($\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), Calcita (CaCO_3), Albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), Caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$).

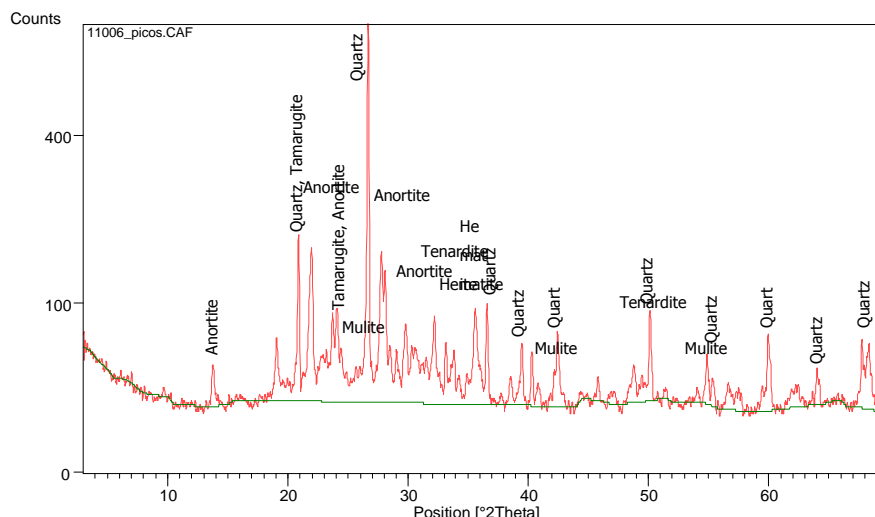


FIGURA 30 – REPRESENTAÇÃO DO DIFRACTOGRAMA DA CERÂMICA COMPOSIÇÃO ÉTE-A7, QUEIMADA A 850°C DO LODO DE ÉTE DA INDÚSTRIA A

Pela análise microscópica, realizada via MEV, constatou-se nas FIGURAS 31a) e 31b) que o material obtido apresentou um aspecto homogêneo, sem presença de fases, característico da fusão e interação completa dos componentes misturados, representando uma estrutura com aspecto vítreo. Observou-se, portanto, a obtenção de um novo material com uma formação de massa adensada e homogênea, característica da fusão dos materiais que compuseram os CPs.

Na FIGURA 31b) observou-se a presença de micro trincas, também característico de material vítreo, que foi submetido à determinada solicitação / esforço físico. Isto se dá devido ao fato que a amostra utilizada para análise via MEV, foi a mesma amostra utilizada no ensaio de resistência a flexão, pois para tal análise, faz-se necessário utilizar uma parte interna do CP. A presença de porosidade em ambas as amostras, deve-se ao fato da formação de gases durante a queima de material orgânico, presente na amostra, e que tem origem tanto na argila como no lodo de ETE da Indústria A, assim como pela presença de óleos e graxas que estão presentes no respectivo material.

A presença de poros não implica na fragilização do material, não sendo um problema a ser considerado para as amostras testadas. As FIGURAS 31a) e 31b) mostram visivelmente a formação de micro-ondas formadas pelo

movimento do material vítreo fundindo durante a queima. Esta estrutura vitrificada justifica a presença de substância amorfa obtida no ensaio de Difratometria de raios X e explica os bons resultados de resistência à flexão obtida nas respectivas amostras.

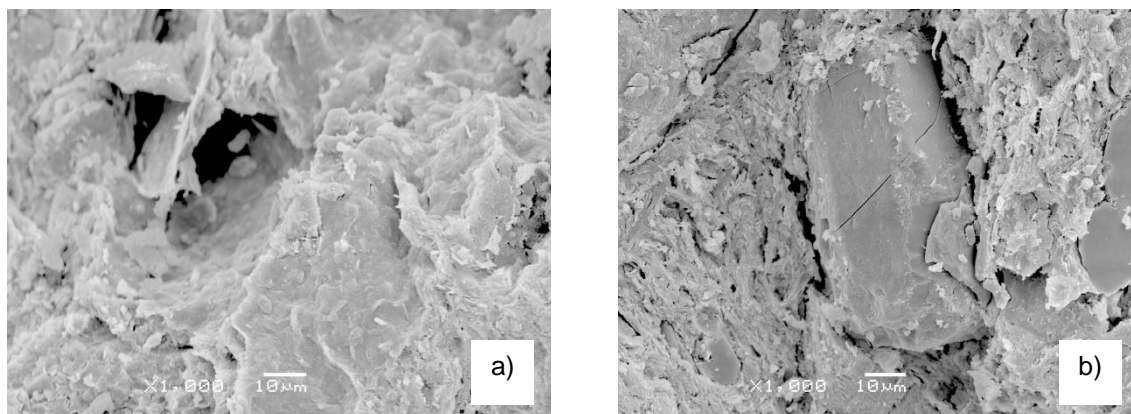


FIGURA 31a) – ANÁLISE DA ESTRUTURA DA AMOSTRA ETE-A7 QUEIMADA A 850°C, VIA MEV E AUMENTO DE 1000X. b) TRINCA DA AMOSTRA ETE-A7 QUEIMADA A 850°C VIA MEV E AUMENTO DE 1000X

Na FIGURA 31b se observou claramente duas trincas diagonais. Isto ocorre, pois no momento de preparação da amostra para a análise via MEV, a mesma foi submetida a esforço considerável, sendo necessário quebrá-la para obter uma pequena amostra do CP para ensaio no MEV. Da mesma forma, esse comportamento também se caracteriza pela formação de estrutura vítrea fazendo com que o material apresente trinca quando submetido a esforço considerável. A ocorrência da trinca não foi uma condição crítica para uso do material obtido.

A FIGURA 32 apresenta os principais resultados de resistência à flexão obtida com as amostras testadas (Lodo de ETE da Indústria A) nas temperaturas entre 700°C e 850°C.

A linha marcada em vermelho corresponde ao valor de 4 MPa que consiste no valor mínimo que deve ser obtido para que a amostra testada atenda às exigências normativas (ABNT 13818:1997). Sempre que o valor obtido for maior ou igual a 4 MPa, significa que a amostra atende a

regulamentação. Da mesma forma, quando o valor obtido for menor que 4 MPa, essa característica não é atendida.

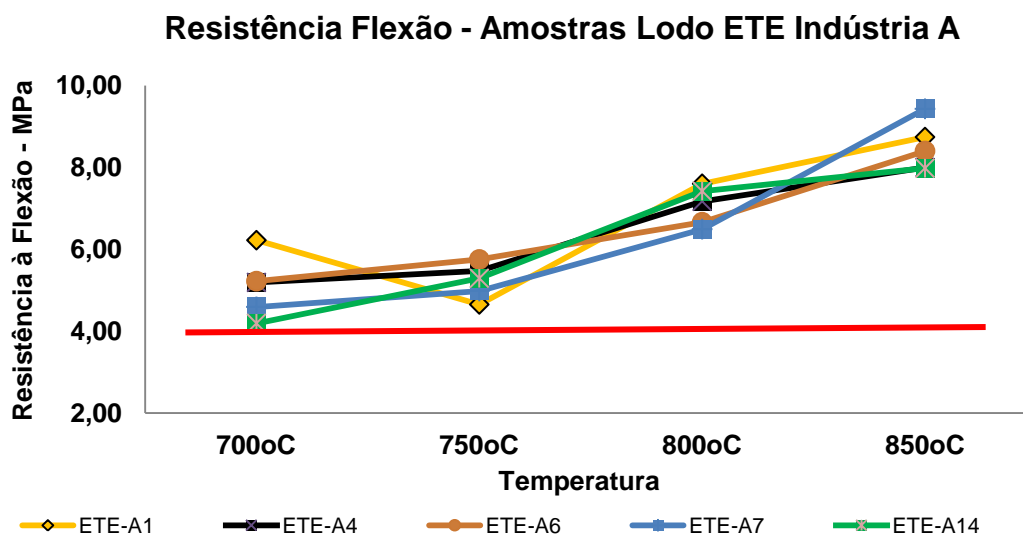


FIGURA 32 – VALORES DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO DAS DIVERSAS AMOSTRAS QUEIMADAS EM DIFERENTES TEMPERATURAS DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A

Observou-se que a tendência apresentada pelo gráfico demonstra que com o aumento da temperatura, há um aumento significativo da resistência à flexão das amostras testadas, chegando, em alguns casos (temperatura de 850°C), a um aumento de praticamente o dobro do valor obtido a 700°C, como no caso da Amostra ETE-A7.

Em função do conceito apresentado no início do trabalho, a formulação escolhida para as análises de lixiviação e solubilização levaria em consideração a maior resistência à flexão identificada nas amostras estabelecidas. Para o caso do Lodo de ETE da Indústria A, a formulação que apresentou o maior resultado foi a Amostra ETE-A7, queimada a temperatura de 850° C durante 6 horas, contendo Lodo de Indústria A (6%), vidro de corte (8%) e argila (88%).

Observou-se que para o caso da amostra ETE-A1 na temperatura de queima de 750°C, ocorreu diminuição da resistência a flexão em comparação a temperatura de 700°C. O valor obtido deveria apresentar tendência para maior em relação ao obtido o que caracteriza um problema com a amostra no

momento de preparação da mesma. Todavia, o ensaio não foi repetido para confirmar o valor obtido.

A seguir é apresentada uma síntese gráfica para a característica de resistência a flexão das análises das adições de lodo, conforme TABELA 13, citada anteriormente.

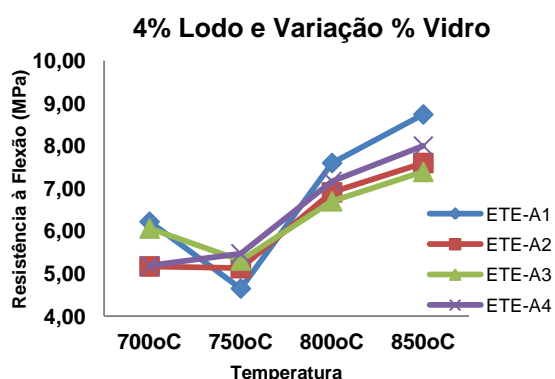


FIGURA 33 – RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE AMOSTRAS QUEIMADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, CONTENDO 4% LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A

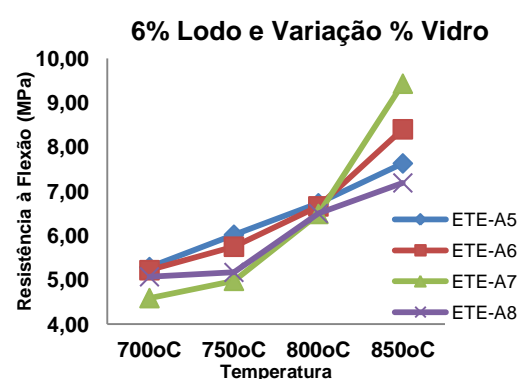


FIGURA 34 – RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE AMOSTRAS QUEIMADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, CONTENDO 6% LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A

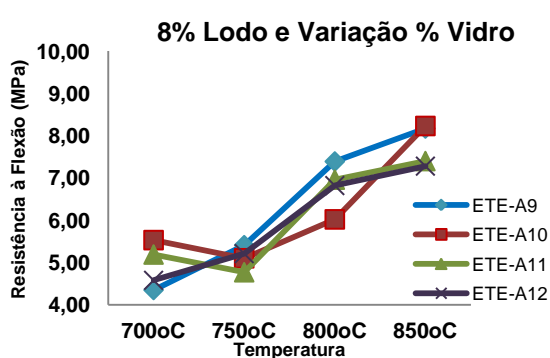


FIGURA 35 – RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE AMOSTRAS QUEIMADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, CONTENDO 8% DE LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A

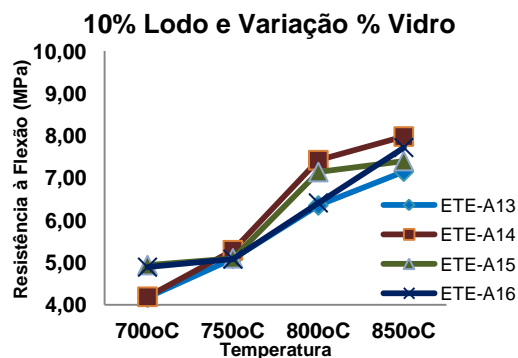


FIGURA 36 – RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE AMOSTRAS QUEIMADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, CONTENDO 10% DE LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A

A avaliação apresentada em cada gráfico demonstra que a adição do Lodo de ETE da Indústria A foi mantida constante, e alterada a quantidade de vidro de corte adicionado (4, 6, 8 e 10%) e de argila, seguindo a formulação estabelecida na TABELA 2.

Evidenciou-se pelo comparativo entre as FIGURAS 33, 34, 35 e 36 que a Amostra ETE-A7 (apresentada na FIGURA 34) apresentou o maior valor de Resistência a Flexão. Na FIGURA 33 três amostras apresentaram redução de valores da característica anteriormente citada, na temperatura de 750°C. Da mesma forma, para a FIGURA 35, observou-se o mesmo comportamento, porém apenas com 2 amostras afetadas.

4.3.2. Retração Linear – Lodo de ETE da Indústria A

Para realizar uma análise comparativa do valor de retração linear pós queima, as amostras processadas com o Lodo de ETE da Indústria A foram avaliadas em relação a esta variável. Foram elaborados corpos de prova que foram queimados nas temperaturas que estão apresentados na TABELA 14.

TABELA 14 – RETRAÇÃO LINEAR (%) PÓS QUEIMA DE CP'S EM FORNO COM LODÔ DE ETE DA INDÚSTRIA A

| Amostra | Composição (%) | | | Retração Linear (%) | | | |
|---------|----------------|--------|--------------|---------------------|-------|-------|-------|
| | Lodo | Argila | Micro Esfera | 700°C | 750°C | 800°C | 850°C |
| ETE-A1 | 4 | 92 | 4 | 8,64 | 8,30 | 8,43 | 9,33 |
| ETE-A2 | 4 | 90 | 6 | 7,58 | 6,70 | 7,61 | 8,76 |
| ETE-A3 | 4 | 88 | 8 | 7,32 | 7,56 | 8,26 | 8,73 |
| ETE-A4 | 4 | 86 | 10 | 6,64 | 7,38 | 7,78 | 8,53 |
| ETE-A5 | 6 | 90 | 4 | 8,36 | 8,31 | 8,58 | 9,17 |
| ETE-A6 | 6 | 88 | 6 | 7,61 | 7,91 | 8,34 | 9,61 |
| ETE-A7 | 6 | 86 | 8 | 7,12 | 7,67 | 8,34 | 9,73 |
| ETE-A8 | 6 | 84 | 10 | 7,28 | 7,56 | 8,82 | 9,43 |
| ETE-A9 | 8 | 88 | 4 | 9,03 | 8,83 | 9,63 | 9,81 |
| ETE-A10 | 8 | 86 | 6 | 8,34 | 8,59 | 8,50 | 9,97 |
| ETE-A11 | 8 | 84 | 8 | 7,93 | 7,57 | 8,89 | 9,63 |
| ETE-A12 | 8 | 82 | 10 | 7,83 | 7,84 | 8,52 | 9,03 |
| ETE-A13 | 10 | 86 | 4 | 9,17 | 9,80 | 9,96 | 10,12 |
| ETE-A14 | 10 | 84 | 6 | 8,75 | 8,81 | 9,35 | 10,55 |
| ETE-A15 | 10 | 82 | 8 | 7,79 | 8,80 | 9,32 | 10,30 |
| ETE-A16 | 10 | 80 | 10 | 8,28 | 8,15 | 9,78 | 11,28 |

Fonte: O autor (2012)

As formulações aplicadas consistiram na variação de teores de argila e microesfera de vidro, mantendo-se constante a quantidade de lodo processado para cada 4 amostras distintas, testadas em diferentes temperaturas.

A TABELA 14 apresenta os valores obtidos nas análises de retração linear pós queima das amostras processadas com Lodo de ETE da Indústria A. Nesta tabela também consta o número da amostra e a composição aplicada

para cada uma delas. Na coluna Retração Linear ao lado direito, constam os valores obtidos em função da análise realizada para cada formulação.

Foi possível evidenciar que as análises obtidas convergem (na sua maioria) para uma maior retração linear em função do aumento da temperatura. Casos específicos e principalmente na temperatura de 750°C, os valores de resistência à flexão de algumas amostras ficaram abaixo quando comparadas com a temperatura de 700°C.

Na FIGURA 37 abaixo é apresentada uma síntese sobre os dados obtidos e reportados na TABELA 14, que demonstra o comportamento das amostras testadas em diferentes configurações de formulação.

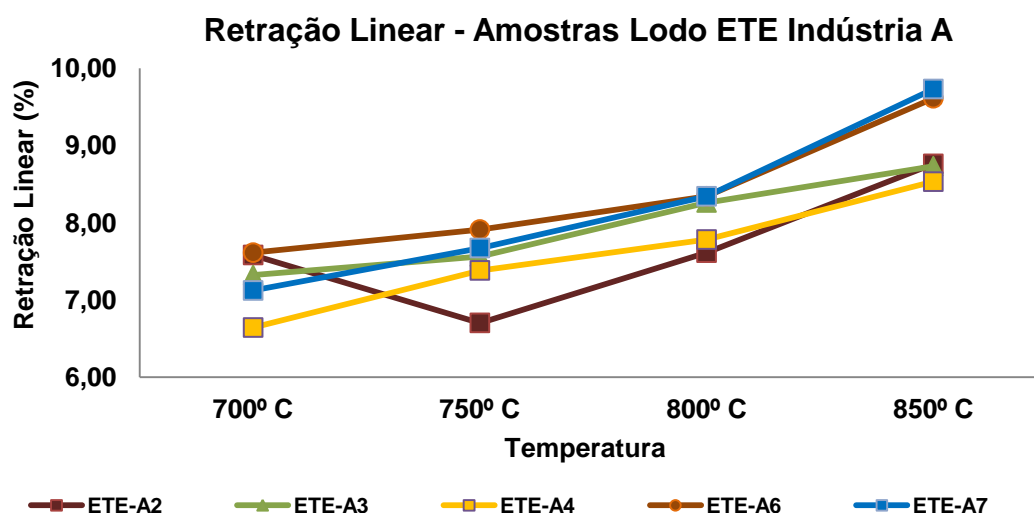


FIGURA 37 – VALORES DE RETRAÇÃO LINEAR (%) DAS AMOSTRAS QUEIMADAS EM DIFERENTES TEMPERATURAS, DO LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A

Seguindo a mesma sistemática realizada para a resistência à flexão, seguem abaixo detalhamento dos valores obtidos para cada grupo analisado.

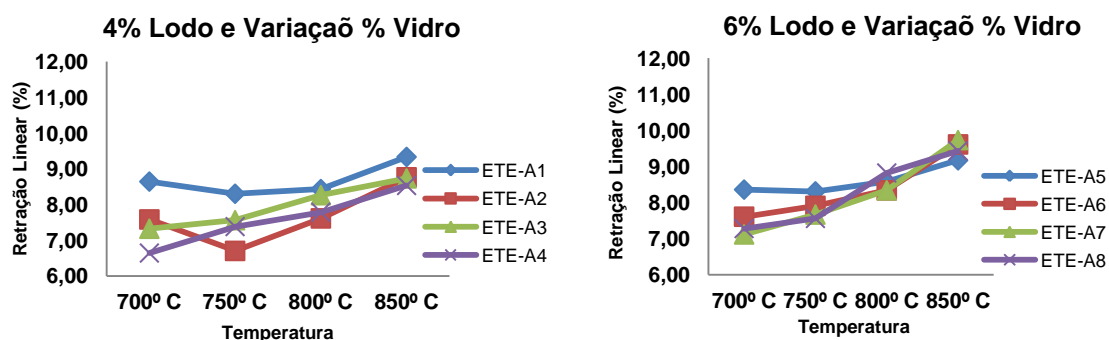


FIGURA 38 – RETRAÇÃO LINEAR DE AMOSTRAS QUEIMADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, CONTENDO 4% LODO ETE DA INDÚSTRIA A

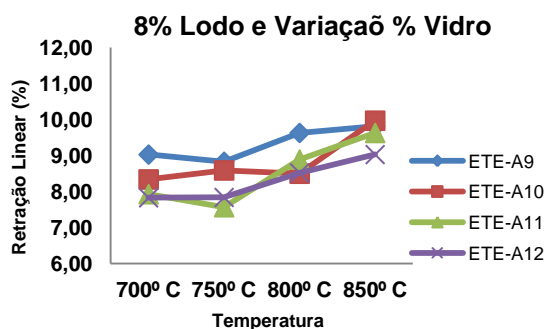


FIGURA 39 – RETRAÇÃO LINEAR DE AMOSTRAS QUEIMADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, CONTENDO 6% LODO ETE DA INDÚSTRIA A

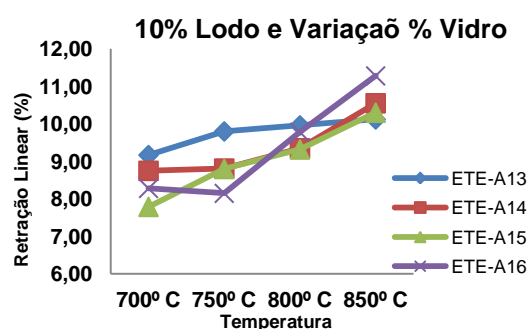


FIGURA 40 – RETRAÇÃO LINEAR DE AMOSTRAS QUEIMADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, CONTENDO 8% LODO ETE DA INDÚSTRIA A

FIGURA 41 – RETRAÇÃO LINEAR DE AMOSTRAS QUEIMADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS, CONTENDO 10% LODO ETE DA INDÚSTRIA A

Nas FIGURAS 38, 39, 40 e 41, observou-se que foi mantida constante a quantidade de Lodo de ETE da INDÚSTRIA A e alternada a quantidade de vidro de corte, (adição de 4, 6, 8 e 10%) e de argila, seguindo a formulação previamente estabelecida na TABELA 2.

Para a FIGURA 38, a retração linear apresentou baixa somente para a Amostra ETE-A2 na temperatura de 750°C. O mesmo comportamento foi observado na FIGURA 40, para a Amostra ETE-A11, também na temperatura de 750°C.

Pelos resultados apresentados nas figuras anteriores, é importante observar que a retração linear identificada nas amostras testadas está em acordo com as taxas existentes em indústria cerâmica, em que alguns casos pode chegar até 20%. De forma abrangente, considerando apenas a temperatura de 850°C, as amostras representadas na FIGURA 38 apresentaram retração linear em torno de 8 a 9%. Para as amostras representadas nas FIGURAS 39 e 40, a retração ficou na faixa de 9%. E para a FIGURA 41, a retração linear ficou entre 10 e 11%. Outro elemento importante a observar foi que a PF do Lodo de ETE da Indústria A foi de 45,38%

(conforme visto na TABELA 2). O aumento deste material na formulação corrobora para o favorecimento de maior índice de retração, pois maior será sua redução quanto maior o percentual de Lodo de ETE da Indústria A for aplicado para a amostra.

Na FIGURA 42 podem-se observar amostras dos CPs com Lodo de ETE da Indústria A que foram submetidos aos ensaios de Resistência à Flexão. A variação da coloração observada foi proporcional à quantidade de lodo que foi utilizada na formulação. Ou seja, quanto mais escura a amostra, maior o percentual de lodo adicionada na formulação. Outra condição associada à coloração está ligada a temperatura de queima da amostra. Temperaturas maiores proporcionam corpos de prova com colorações mais escuras, devido ao aumento da oxidação do Fe_2O_3 presente na argila. A variação de coloração da amostra somente será perceptível a partir de temperaturas acima de 800°C .

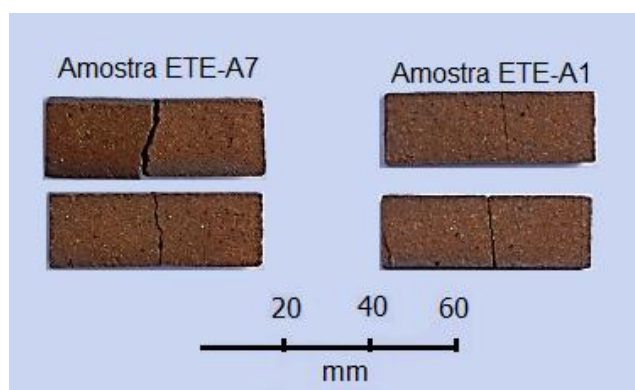


FIGURA 42 – AMOSTRAS DOS CPS COM LODO DE ETE DA INDÚSTRIA A, QUEIMADOS A 850°C . A COLORAÇÃO OBSERVADA NOS CPS DA AMOSTRA ETE-A7 CONTENDO 6% DE LODO E 8% MV E NA AMOSTRA ETE-A1 CONTENDO 4% DE LODO E 4% MV

Em função dos dados obtidos (TABELA 14), observou-se que a condição normal para as formulações estabelecidas foi ocorrência da diminuição na retração linear da dilatação dos corpos de prova, em função do aumento do teor de microesfera de vidro (vidro moído), mantendo-se a mesma faixa de temperatura. Ou seja, aumentando-se o teor de microesfera de vidro, mantendo-se constante a quantidade de lodo adicionado à mistura e mantendo-se o mesmo range de temperatura, evidenciou-se que o comportamento da cerâmica vermelha tende a apresentar valores menores em

termos de retração linear. Portanto, o vidro neste caso foi classificado como matéria prima que atua como regulador da estabilidade dimensional.

Ainda sobre os dados obtidos da TABELA 14, verificou-se que aumentando-se o percentual de lodo à mistura e mantendo-se constante a temperatura de queima, a maior parte das amostras apresentaram aumento da variação dimensional, ocasionado principalmente pela PF (43,38%), que foi significativo para o respectivo material (lodo).

4.4. ANÁLISES REALIZADAS COM LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B

4.4.1. Ensaios de Resistência à Flexão – Lodo de ETE da Indústria B

Para o Lodo de Indústria B a formulação adotada correspondeu a uma modificação (incremento) a maior na adição de resíduos adicionados. A TABELA 15 apresenta os valores de resistência à flexão.

TABELA 15 – RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MPa) – AMOSTRA ETE-B3 – LODO ETE DA INDÚSTRIA B.

| Amostra | Lodo | Argila | Cinza Madeira | MV | Entulho | 800°C | 850°C | 900°C | 950°C |
|---------|--------------|--------|------------------|-----|---------|----------------|-------|-------|-------|
| | Valores em % | | | | | Valores em Mpa | | | |
| ETE-B1 | 50 | 30 | 20 | --- | --- | 0,81 | --- | 0,96 | 0,92 |
| ETE-B2 | 40 | 40 | 20 | --- | --- | 1,43 | 1,75 | 2,00 | 2,75 |
| ETE-B3 | 40 | 40 | 10 | 10 | --- | 5,77 | 6,28 | 6,91 | 7,26 |
| ETE-B4 | 50 | 30 | 10 | 10 | --- | 3,16 | 3,84 | 4,07 | 5,44 |
| ETE-B5 | 4 | 86 | --- | 10 | --- | 5,94 | 5,93 | 7,60 | 8,45 |
| ETE-B6 | 6 | 84 | --- | 10 | --- | 6,09 | 6,52 | 7,80 | 8,14 |
| ETE-B7 | 40 | 50 | --- | --- | 10 | 5,50 | 5,75 | 6,07 | 6,97 |
| ETE-B8 | 40 | 45 | --- | --- | 15 | 4,30 | 5,32 | 5,27 | 5,59 |
| ETE-B9 | 40 | 40 | --- | --- | 20 | 2,50 | 3,20 | 3,35 | 3,74 |
| Argila | 0 | 100 | --- | --- | 0 | 6,90 | 7,55 | 8,38 | 10,01 |

Fonte: O autor (2012)

A FIGURA 43 apresenta os valores de Resistência à flexão que foram submetidas às amostras testadas com o Lodo de ETE da Indústria B.

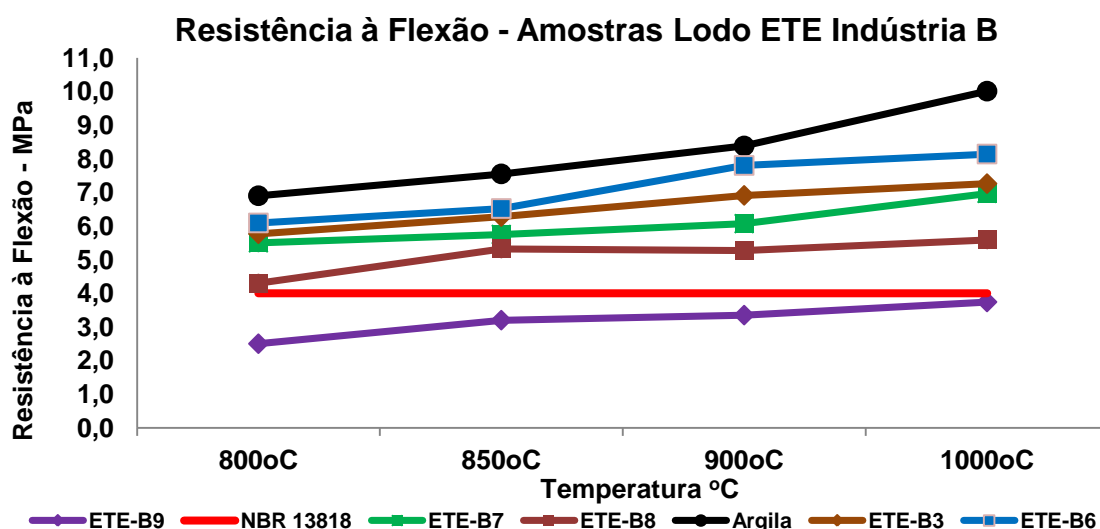


FIGURA 43 – RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO – AMOSTRAS LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B

A FIGURA 44 abaixo apresenta, de forma mais clara, os dados ilustrados na Figura anterior. As Amostras ETE-B1 e ETE-B2 não apresentaram valores que pudessem ser caracterizados como significativos perante a especificação (mínima 4 MPa). Portanto, essas formulações não podem ser aplicadas para a fabricação de materiais cerâmicos (tijolos) nas temperaturas testadas.

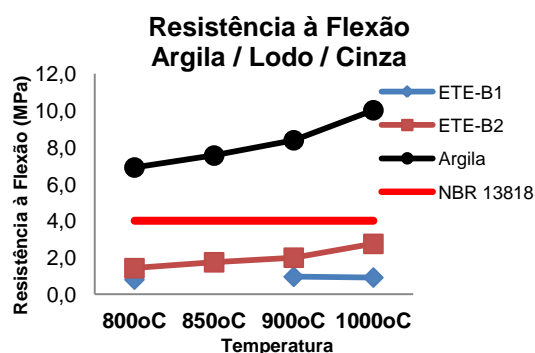


FIGURA 44 – RESULTADO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO – ARGILA / LODO E CINZA.

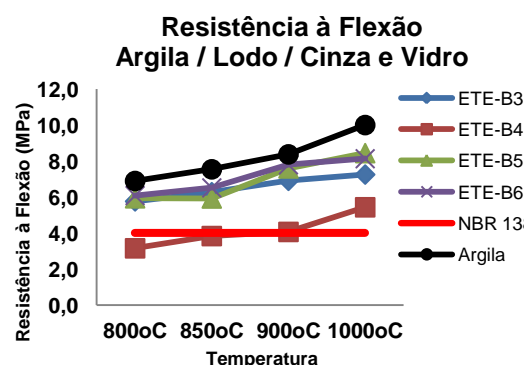


FIGURA 45 – RESULTADO DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO – ARGILA / LODO / CINZA E VIDRO

A baixa resistência à flexão se dá pelo fato de que um dos materiais utilizados, a cinza de madeira, apesar de apresentar considerável quantidade de SiO₂ (sílica, 45,3%) conforme caracterizado na análise de FRX apresentada

na TABELA 12, não representa uma matéria prima que favoreça a formação de uma ligação efetiva com os outros dois materiais da formulação.

Observou-se nas amostras apresentadas na FIGURA 44 o aumento da resistência à flexão com o aumento da temperatura. A Amostra ETE-B1, testada na temperatura de 850°C estava danificada (fundida) motivo pelo qual não foi realizada medição de resistência a flexão. Neste mesmo gráfico também foi apresentado o material contendo somente Argila (Zero-Argila). Para esta amostra, os valores obtidos foram consideráveis em relação à resistência à flexão. O que se evidenciou com os ensaios realizados foi que todas as formulações testadas apresentaram resistência a flexão inferior ao valor observado na preparação da amostra somente com Argila.

Devido à utilização do vidro moído, as amostras apresentadas na FIGURA 45 apresentaram valores relevantes em relação à resistência à flexão. Para as amostras ETE-B3, ETE-B4, ETE-B5 e ETE-B6, com adição de esfera de vidro moída, proporcionam relativo aumento na resistência à flexão dos corpos de prova avaliados. A Amostra ETE-B4 apresentou elevada quantidade de resíduos (70%) e isso favoreceu a formação de um material mais frágil após a queima em forno. Motivo pelo qual os valores obtidos, principalmente para as amostras queimadas entre 800°C e 900°C apresentaram valores intermediários. Já a amostra queimada a temperatura de 1000°C apresentou um valor mais elevado, pois se identificou ocorrência de material vítreo em função da temperatura a qual foi aplicada.

As amostras ETE-B3 e ETE-B4 também foram formuladas com quantidades importantes de lodo (40 e 50%). Além disso, foram adicionados 10% de cinza e 10 % de esfera de vidro moído (esse último favorece processo de vitrificação). Importante observar que durante os ensaios, foram preparados CPs (Amostras ETE-B5 e ETE-B6) com formulação similar a aplicada ao Lodo de ETE da Indústria A. Verificou-se que Amostra ETE-B5 apresentou bons resultados considerando a formulação proposta, chegando a 5,93 MPa a temperatura de 850°C.

No entanto, apesar das Amostras ETE-B5 e ETE-B6 apresentarem excelentes resultados em termos de resistência a flexão, as mesmas não serão

levadas em consideração para a escolha dos produtos que foram realizadas as análises de lixiviação e solubilização, pois estas foram confeccionadas com o objetivo de realizar análise comparativa entre as amostras de Lodo de ETE da Indústria A e Lodo de ETE da Indústria B. Comparando-se a TABELA 2 e a TABELA 3, identificou-se que a Amostra ETE-A4 apresentou a mesma formulação utilizada na amostra ETE-B5 (referente o Lodo de ETE da Indústria B). Porém, o resultado encontrado está um pouco inferior ao identificado com o Lodo de ETE da Indústria A. Ou seja, para a temperatura de 850°C (faixa de queima do CP em estufa) foi obtido o valor de 8,53 Mpa para a amostra ETE-A4 enquanto que para a amostra ETE-B5 (formulada com o Lodo de ETE da Indústria B) o resultado obtido para a mesma temperatura foi de 5,93 MPa.

Na FIGURA 46 é apresentada a resistência à flexão das amostras que foram formuladas com Argila / Lodo e Entulho.

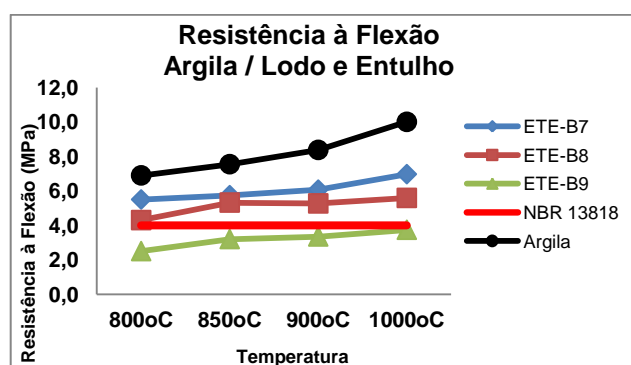


FIGURA 46 – RESULTADO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO DAS AMOSTRAS CONTENDO PERCENTUAIS DIFERENTES DE MATÉRIAS PRIMAS – ARGILA / LODO E ENTULHO

Outro ponto importante a considerar foi que os valores de temperatura de 900°C e 1000°C apresentados nos gráfico anteriores não serão considerados na análise comparativa. Portanto a análise de dados se dará entre as temperaturas de 800 a 850°C, seguindo a mesma referência testada para o Lodo de ETE da Indústria A. Além disso, o *range* de temperatura de 800 a 850°C consiste a temperatura frequentemente utilizada em olarias para fazer a queima de tijolos de cerâmica vermelha. Dessa forma, a condição testada em

laboratório considerou a mesma característica aplicada no processo de fabricação de uma olaria convencional.

Para as Amostras ETE-B7, ETE-B8 e ETE-B9, os valores de resistência à flexão voltam a cair novamente, pois se elimina adição de vidro moído das formulações e incrementa-se consideravelmente o percentual de entulho adicionado as amostras. Da mesma forma, conforme a caracterização apresentada na TABELA 10, o entulho também apresentou quantidade considerável de SiO_2 (67,02%), CaO (11,54%) e Al_2O_3 (6,3%), porém com quantidades maiores que 15%, não se comportou como material que proporcione boa ligação com os demais materiais presentes na amostra.

Considerando os ensaios realizados com o Lodo de ETE da Indústria B, a amostra que apresentou os melhores resultados de resistência à flexão, foi a Amostra ETE-B3 com valor de 6,28 Mpa, para a temperatura de 850°C. Portanto, foi a amostra escolhida para análise de lixiviação e solubilização.

Quando da confecção das amostras, foi identificada a necessidade de se fazer uma amostra que representou a formulação zero por cento de adição de lodo ou qualquer outra matéria prima em estudo no respectivo trabalho. A amostra foi denominada de Argila, pois é o único componente que foi utilizado na preparação desta formulação.

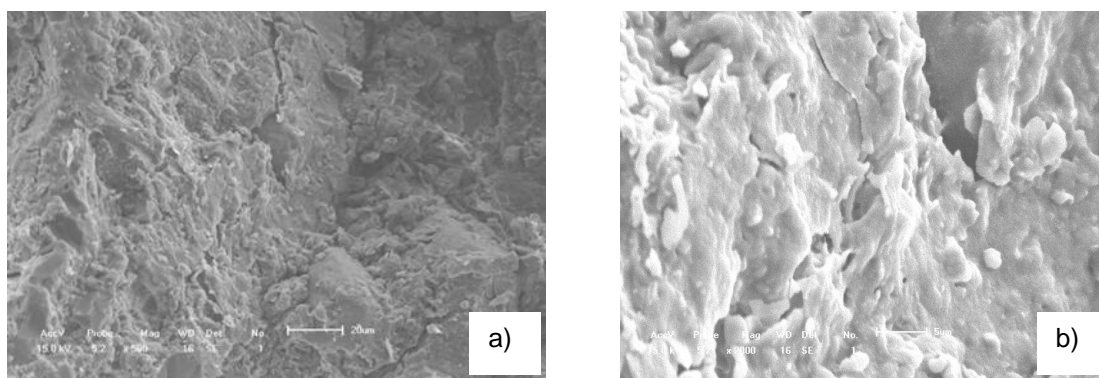


FIGURA 47 – a) ANÁLISE ESTRUTURAL DO CP 100% ARGILA, VIA MEV COM AUMENTO DE 500X, E b) COM AUMENTO DE 2000X.

O objetivo de confecção do respectivo CP foi o de fazer uma análise comparativa e conhecer o comportamento da dita amostra sob as mesmas condições de ensaio das demais amostras. As FIGURAS 47a) e 47b)

apresentam uma micrografia do CP Argila realizada com MEV com magnitude de 500x e 2000x, cuja temperatura de queima foi de 850°C.

Avaliando a amostra (Argila) nas faixas de temperatura entre 800°C e 1000°C, pode-se constatar que as resistências à flexão das amostras testadas apresentaram valor adequado em relação à preconização estabelecida, e os valores obtidos foram respectivamente: mínima de 6,90 Mpa a 800°C e a máxima de 10,01 MPa para CP que foi queimado a 1000°C.

Em função da análise de Resistência a Flexão, e conforme apresentado anteriormente, a Amostra ETE-B3 queimada a 850°C, apresentou maior valor relativo entre todas as amostras testadas e em função disso foi escolhida para a análise dos demais parâmetros solicitados pela legislação.

Analisando os valores obtidos de resistência a flexão para a temperatura de 850°C, a amostra ETE-B7 está 8% abaixo do valor obtido pela amostra ETE-B3 a amostra ETE_B8 está 15% abaixo desse valor. Se comparado com a amostra Argila, a amostra ETE-B3 está 16,8% abaixo do valor de resistência a flexão, a amostra ETE-B7 está 26,2% abaixo e a amostra ETE-B8 está 29,5% abaixo.

Segue na FIGURA 48 o difractograma obtido da Amostra ETE-B3 queimada a 850°C durante 6 horas com Lodo de ETE da Indústria B. Dentre os materiais identificados durante a análise de Difractometria de Raio X também foi evidenciada a presença de ferro. Esse difractograma apresenta característica de material bem cristalizado, não identifica a presença de material que estava presente na composição dos resíduos adicionados a composição estudada, permitindo dizer que formaram nova estrutura cristalina.

As estruturas cristalinas identificadas no difractograma foram quartzo, dolomita e calcita, e com pontos de ferro presentes, principalmente nos dois maiores picos apresentados no gráfico. A presença de ferro na análise realizada não foi caracterizado como elemento que possa causar algum dano ao meio ambiente.

Pela análise realizada a amostra ETE-B3 pode ser considerada como inerte. Para apresentação da caracterização final da amostra, há necessidade

de realização das análises de lixiviação e solubilização, descritas mais adiante, no item 4.5.

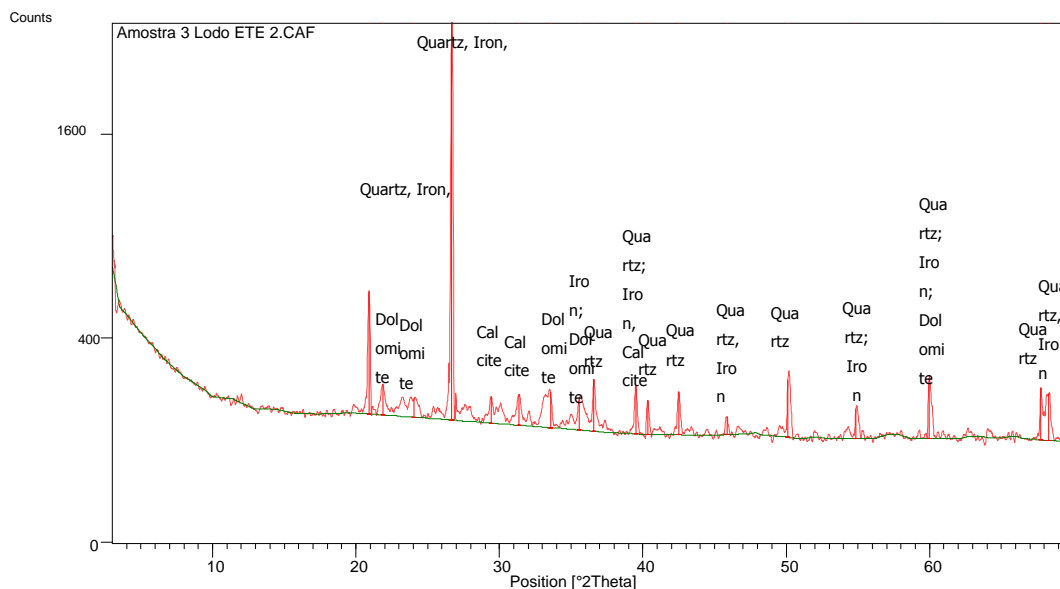


FIGURA 48 – REPRESENTAÇÃO DO DIFRACTOGRAMA DE RAIOS X DA CERÂMICA AMOSTRA ETE-B3, COM LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B

A amostra ETE-B3, queimada a 850°C foi analisada em MEV e nas FIGURAS 49a) e 49b) observam-se as micrografias obtidas a 500x e 1000x de aumento.

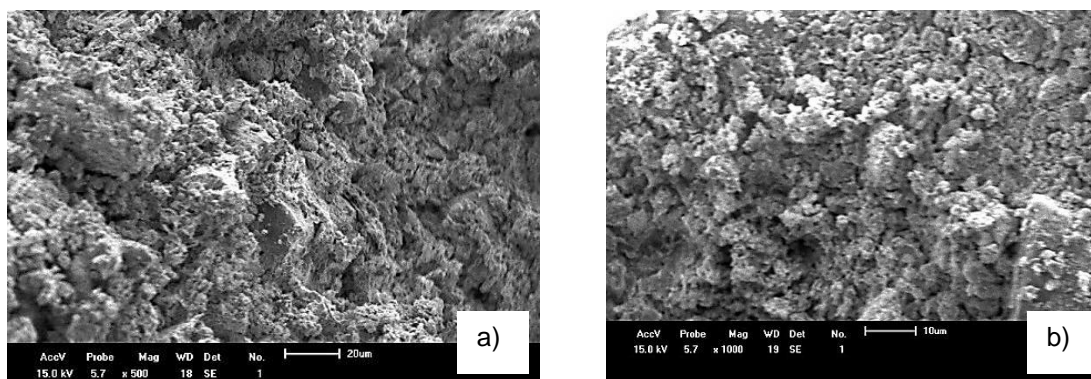


FIGURA 49 – a) ANÁLISE MORFOLÓGICA DA AMOSTRA ETE-B3 REALIZADA VIA MEV COM AUMENTO DE 500X E, b) COM AUMENTO DE 1000X

Identificou-se que o material analisado via MEV apresentou aspecto homogêneo e denso, sem presença de fases, caracterizando a ocorrência de

sinterização do mesmo com interação completa entre os elementos que foram misturados.

4.4.2. Retração Linear – Lodo de ETE da Indústria B

A análise seguinte foi caracterizada pela retração que os CPs sofrem ao serem submetidos ao calor. Esta retração, conforme já comentado, ocorre em geral pela perda de umidade do material compactado, porém também existem outros fenômenos que contribuem de forma significativa para que isto ocorra. Entre eles podem ser citados a Perda ao Fogo, ou seja, como as amostras foram submetidas a um gradiente de calor considerável, há uma perda devido a queima de materiais orgânicos presentes. Isto ocorreu principalmente se observar que na argila (extraída *in natura*) a mesma apresentou um valor relativamente baixo (6,95%) apresentado na TABELA 7 - Análise de Fluorescência de Raio X.

A TABELA 16 abaixo apresenta a retração linear obtida em relação à largura inicial de cada CP que foi formulado como Lodo de Indústria B, para cada amostra processada em diferentes temperaturas.

TABELA 16 – RESULTADOS DE RETRAÇÃO (%) DOS TESTES REALIZADOS COM AMOSTRAS DE LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B

| Amostra | Lodo | Argila | Cinza Madeira | MV | Entulho | 800°C | 850°C | 900°C | 1000°C |
|--------------|------|--------|------------------|-----|---------|--------------|-------|-------|--------|
| Valores em % | | | | | | Valores em % | | | |
| ETE-B1 | 50 | 30 | 20 | --- | --- | 9,59 | --- | 10,88 | 11,13 |
| ETE-B2 | 40 | 40 | 20 | --- | --- | 7,48 | 8,00 | 9,04 | 8,70 |
| ETE-B3 | 40 | 40 | 10 | 10 | --- | 10,17 | 11,48 | 11,78 | 11,31 |
| ETE-B4 | 50 | 30 | 10 | 10 | --- | 13,59 | 14,53 | 15,01 | 14,75 |
| ETE-B5 | 4 | 86 | --- | 10 | --- | 8,18 | 8,80 | 9,35 | 11,75 |
| ETE-B6 | 6 | 84 | --- | 10 | --- | 8,64 | 8,95 | 10,45 | 11,02 |
| ETE-B7 | 40 | 50 | --- | --- | 10 | 9,15 | 9,34 | 9,63 | 9,74 |
| ETE-B8 | 40 | 45 | --- | --- | 15 | 7,43 | 8,03 | 8,32 | 8,59 |
| ETE-B9 | 40 | 40 | --- | --- | 20 | 6,52 | 6,98 | 7,67 | 7,88 |
| Argila | 0 | 100 | --- | --- | 0 | 2,41 | 2,57 | 2,48 | 3,17 |

Fonte: O autor (2012)

Outro fator que implicou a retração da amostra foi o fenômeno de sinterização e/ou vitrificação. Quando do aquecimento de um material,

principalmente nas condições aqui apresentadas, ocorreu a junção superficial de partículas, pois seus contornos começaram a se fundir. Desta forma, e considerando o fato que as mesmas se encontraram muito próximas umas das outras devido ao esforço de compactação aos quais as amostras foram submetidas durante o processo de prensagem, o entorno das partículas apresentou uma característica mais maleável de forma a permitir sua junção, sem, no entanto se fundir completamente.

Na FIGURA 50 se observou que normalmente há aumento da variação da retração linear dos corpos de prova com o aumento da temperatura, mantendo a mesma faixa de composição da mistura.

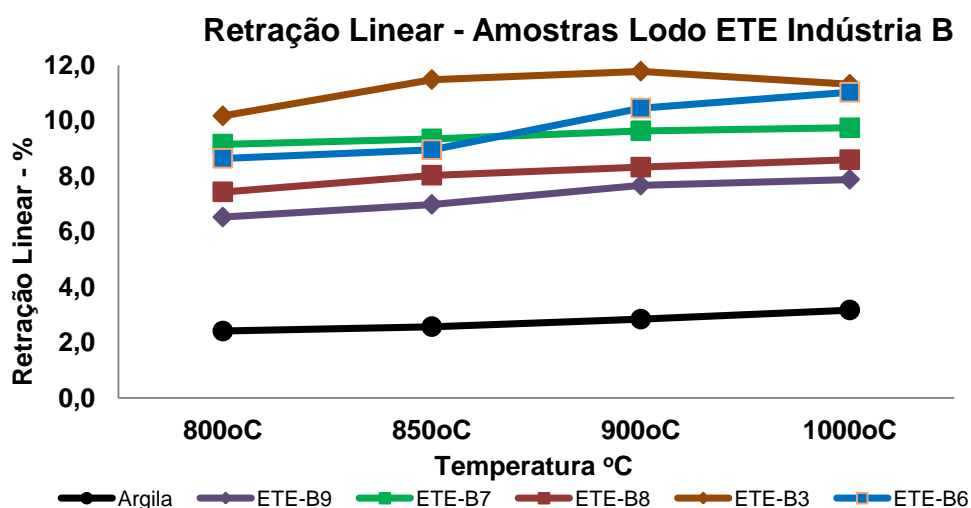


FIGURA 50 – PRINCIPAIS RESULTADOS DE RETRAÇÃO LINEAR (%) OBTIDAS DAS AMOSTRAS TESTADAS COM LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B

Este fenômeno ocorreu devido o fato que o vidro tende a se ligar com as demais partículas dos elementos constituintes da formulação, proporcionando posteriormente o efeito de vitrificação do material obtido, ocasionando a eliminação da porosidade do material.

Segue abaixo a análise gráfica da característica de Retração Linear obtidas nas amostras testadas.

Na FIGURA 51 observa-se a retração obtida nas Amostras ETE-B1 e ETE-B2 e nos corpos de prova de Argila.

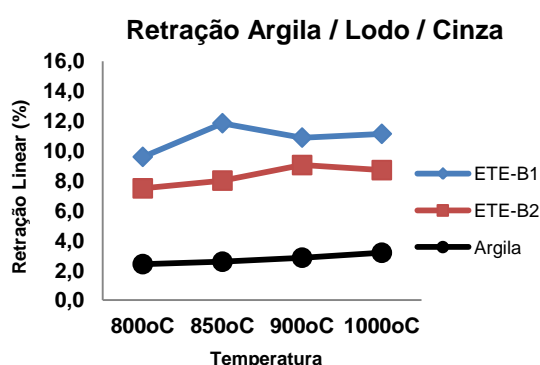


FIGURA 51 – RESULTADOS DE RETRAÇÃO LINEAR – ARGILA / LODO / CINZA

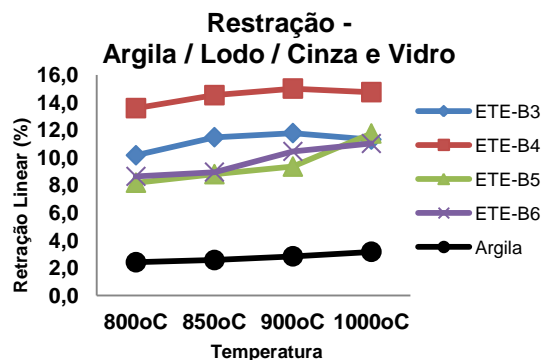


FIGURA 52 – RESULTADOS DE RETRAÇÃO LINEAR – ARGILA / LODO / CINZA E VIDRO

Observou-se que as Amostras ETE-B1 e ETE-B2 apresentaram valores de retração linear superior a Argila, porém, de forma genérica, apresentaram comportamento similar às demais amostras testadas, sendo a Amostra ETE-B1 de forma mais intensa do que a Amostra ETE-B2. A retração linear da argila apresenta valores relativamente baixos, permanecendo na faixa entre 2,0 a 3,5% para as temperaturas testadas.

Na FIGURA 52 é apresentada a retração linear das Amostras ETE-B3 a ETE-B6, que se caracterizam pela presença de resíduos de vidro. O maior valor associado está para a Amostra ETE-B4, que devido a sua formulação, apresentava 50% de lodo, 10 % de cinza, 10% de vidro e 30% de argila. Devido a grande quantidade de lodo, a retração desta amostra foi considerável, pois a matéria prima Lodo de ETE da Indústria B apresentava 44,46% de PF.

Por fim, a FIGURA 53 apresentou a situação envolvendo as três últimas formulações, que correspondem as Amostras ETE-B7, ETE-B8 e ETE-B9, em que houve adição de entulho em diferentes concentrações. Para as amostras mencionadas não houve adição de vidro moído.

Observou-se que mantendo constante a adição de 40% de Lodo de ETE da Indústria B, aumentando o teor de entulho de 10% para 20% das amostras e diminuindo o teor de 50% para 40% de Argila, houve um decréscimo na característica de retração linear da amostra. Isto ocorre, pois se reduz a quantidade de argila aplicada as formulações com consequente aumento do teor de entulho, que apresenta baixa perda ao fogo (7,57%).

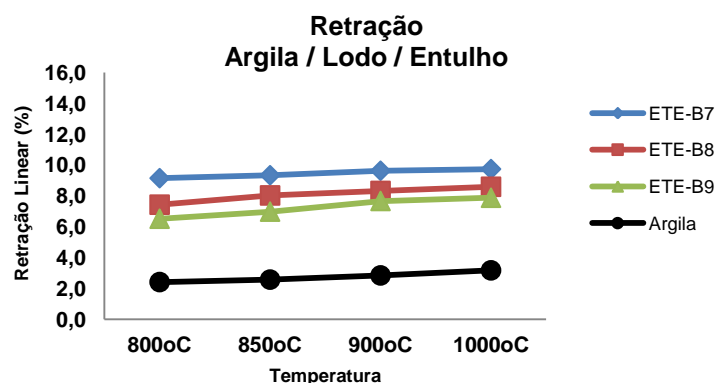


FIGURA 53 – RESULTADOS DE RETRAÇÃO LINEAR – ARGILA / LODO / ENTULHO

Os resultados obtidos para as amostras formuladas com Lodo de ETE da Indústria B estão de acordo com as taxas normalmente obtidas em indústria cerâmica. Na FIGURA 54 observam-se duas amostras dos CPs formulados com Lodo de ETE da Indústria B, que foram submetidos aos ensaios de Resistência à Flexão.

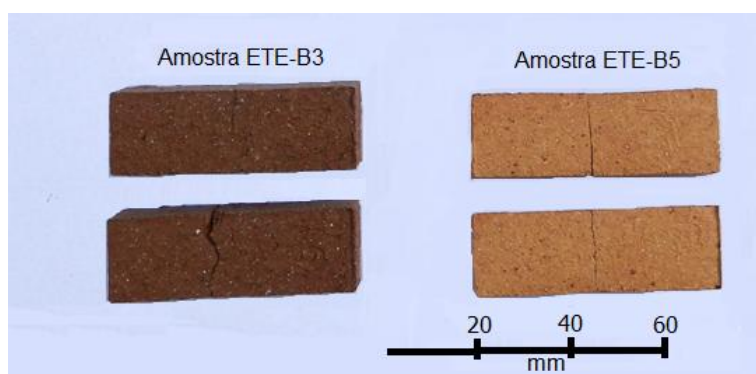


FIGURA 54 – DIFERENÇA DE COLORAÇÃO OBSERVADA NOS CPS CONFECCIONADOS COM LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B QUEIMADOS A 850° C, NA AMOSTRA ETE-B3 CONTENDO 40% DE LODO E NA AMOSTRA ETE-B5 CONTENDO 4%

Outro fator que contribui para a característica de retração linear é a temperatura e tamanho de partícula, ou seja, quanto maior a temperatura, maior a retração, pois maior será a interação entre as partículas. A força de compactação também contribuiu para essa característica, portanto, forças de compactação maiores tendem a proporcionar retrações lineares menores, pois as partículas estarão mais próximas, proporcionando interação entre elas.

Material fundente auxilia no processo de vitrificação, porém em excesso ou alta temperatura pode causar a fusão da amostra. Durante a preparação das amostras ocorreu uma situação que uma determinada amostra foi colocada em um forno que era pouco utilizado. Após o tempo de queima observou-se que a amostra estava completamente fundida. Esta situação foi verificada com a amostra ETE-B3. O forno em questão não foi mais utilizado no experimento aqui descrito.

A variação de colocação observada ocorre em função da quantidade de lodo utilizado. Portanto, quanto mais escura a amostra, maior o teor de lodo na formulação.

Na TABELA 17 constam os resultados da análise de Fluorescência de Raio X realizada na Amostra ETE-B3, queimada a 850° C

TABELA 17 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA AMOSTRA ETE-B3, PREPARADA COM LODO DE ETE DA INDÚSTRIA B

| Análise | Percentual | Análise | Percentual | Análise | Percentual |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|
| SiO ₂ | 60,3 | MgO | 1,4 | SO ₃ | 0,2 |
| Al ₂ O ₃ | 14,5 | K ₂ O | 0,6 | P ₂ O ₅ | 0,3 |
| Fe ₂ O ₃ | 10,1 | CaO | 7,7 | BaO | 0,3 |
| TiO ₂ | 1,3 | Na ₂ O | 1,0 | MnO | 0,1 |
| ZnO | 0,1 | | | | |

Fonte: O autor (2012)

4.5. ANÁLISES DE SOLUBILIZAÇÃO E LIXIVIAÇÃO

4.5.1. Análise de Solubilização

Em função dos resultados obtidos nos ensaios anteriores, já discutidos, foram escolhidas as amostras ETE-A7 (Lodo de Indústria A) e ETE-B3 (Lodo de ETE Indústria B), ambas queimadas na temperatura de 850° C, para realizar as análises de lixiviação e solubilização. As análises de Solubilização e Lixiviação foram realizadas no LACTEC.

Na TABELA 18 são apresentados os valores de ambas as amostras assim como as especificações previstas na Norma NBR 10.004:2004 referentes a Resíduos Sólidos – Classificação, presentes no Anexo G (ABNT, 2004). Quando o valor não foi identificado na amostra está especificada a notação NC – Não Consta.

Para a amostra ETE-A7, não foram identificados valores que ultrapassam as especificações. Somente o elemento Cromo que apresentou valor próximo à especificação (0,04 mg/L). Porém, este elemento não foi identificado em nenhuma análise realizada anteriormente. A principal análise que poderia identificar traços do metal é a Fluorescência de Raio X.

TABELA 18 – ANÁLISE SOLUBILIZAÇÃO DAS AMOSTRAS QUEIMADAS.

| Elemento | Unidade | Amostra ETE-A7 | Amostra ETE-B3 | ABNT NBR 10004 2004 Anexo – G |
|-----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| Alumínio | mg/L | <0,1 | NC | 0,2 |
| Bário | mg/L | <0,1 | <0,01 | 0,7 |
| Cádmio | mg/L | <0,005 | <0,001 | 0,005 |
| Chumbo | mg/L | <0,01 | <0,01 | 0,01 |
| Cobre | mg/L | <0,01 | NC | 2,0 |
| Cromo | mg/L | 0,04 | <0,01 | 0,05 |
| Ferro | mg/L | <0,05 | NC | 0,3 |
| Manganês | mg/L | 0,05 | NC | 0,1 |
| Zinco | mg/L | 0,05 | 0,01 | 5,0 |

Fonte: O autor (2012)

Conforme TABELA 18, os resultados apresentados no ensaio de solubilização para amostra ETE-B3 são inferiores aos limites máximos especificados na NBR 10.004 (2004). Dos nove elementos analisados, quatro deles não foram identificados e os demais apresentaram valores inferiores ao especificado.

4.5.2. Análise de Lixiviação

A TABELA 19 apresenta os valores obtidos nas análises de lixiviação utilizando como referência a Norma NBR 10.004 (2004) referente a Resíduos Sólidos – Classificação, presentes no Anexo F (ABNT, 2004).

Nas análises de lixiviação realizadas em ambas as amostras os resultados apresentados estão abaixo dos limites máximos estabelecidos na Norma NBR 10004 (2004).

TABELA 19 – ANÁLISE LIXIVIAÇÃO DAS AMOSTRAS QUEIMADAS.

| Elemento | Unidade | Amostra ETE-A7 | Amostra ETE-B3 | ABNT NBR 10004/2004 Anexo - F |
|----------|---------|----------------|----------------|-------------------------------|
| Bário | mg/L | 0,33 | 2,0 | 70,0 |
| Cádmio | mg/L | < 0,002 | <0,001 | 0,5 |
| Chumbo | mg/L | 0,08 | <0,01 | 1,0 |
| Cromo | mg/L | < 0,02 | <0,01 | 5,0 |
| Mercúrio | mg/L | < 0,001 | NC | 0,1 |
| Selênio | mg/L | < 0,05 | NC | 1,0 |

Fonte: O autor (2012)

4.6. PROJEÇÃO DO USO DE RESÍDUOS

Com o intuito de representar o impacto que a formulação proposta apresenta em termos de utilização de recursos naturais, é apresentado abaixo uma analogia da sua aplicação no processo de fabricação de tijolos, considerando uma abrangência nacional para a geração de resíduos da indústria automobilística. É importante

Conforme apresentado na FIGURA 55, estão identificadas as montadoras que já estão instaladas no Brasil, assim como as novas fábricas em construção no território nacional. Ao total são 28 montadoras, sendo que 19 delas já em funcionamento em regime normal de produção e 9 montadoras em processo de implantação/instalação. Com base nessa informação, foram obtidos os dados da quantidade de veículos vendidos no ano de 2012 no *site internet* da FENABRAVE – Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores, que consta como 3.589.975 automóveis e comerciais leves comercializados no Brasil. Exclui-se desta contabilização as indústrias que produzem caminhões de carga. Somente estão consideradas no cálculo as fábricas que produzem carros de passeios e comerciais leves.

O valor médio de lodo gerado por veículo fabricado é da ordem de aproximadamente 2,2kg, conforme autor da respectiva tese. Portanto, considerando a quantidade de veículos vendidos (3.589.975 veículos, FENABRAVE, 2012), multiplicados pela quantidade de resíduo gerado por veículo fabricado, obtém-se a quantia de 7.897.945 kg de resíduos da indústria automobilística brasileira.



FIGURA 55 – MAPA DAS FÁBRICAS DE AUTOMÓVEIS NO BRASIL.

Fonte:IG: <http://carros.ig.com.br/especiais/veja+o+mapa+das+novas+fabricas+de+automoveis+do+brasil/6523.html>

Um tijolo de 6 furos (medindo 190mm de comprimento, 140 mm de altura e 90 mm de largura, pesa aproximadamente 2,25 kg. Para construir uma casa de 64 m² (8 x 8m) são necessários aproximadamente 3100 tijolos (conforme dados trabalhados pelo autor, 2013). O peso total do montante de tijolos corresponde a 6975kg.

Considerando a formulação estudada, que contempla 40% de argila, 40% de Lodo da ETE B, 10% de Vidro e 10% de Cinzas, foi realizada projeção do uso de resíduos para a fabricação de tijolos. Em adição, no estudo

realizado, a perda ao fogo do resíduo da ETE B obtido na TABELA 9 é de 44,46%, portanto, é necessário considerar esse fator a partir do momento que se utiliza o resíduo da indústria automobilística no processo de fabricação de tijolos. A quantidade de resíduo utilizada para fabricação de um tijolo nas dimensões anteriormente citadas (190x140x90mm), que pesa 2,25kg é de 0,9kg. Somada a perda ao fogo que o resíduo da indústria automobilística sofre ao ser submetido ao processo de queima, a quantidade estimada a ser utilizada por tijolo produzido com a configuração de 40% de Lodo da ETEB será de 1,3 kg de resíduo.

Portanto, para uma quantidade de resíduo anual gerado na indústria automobilística brasileira de 7.897.945 kg de resíduos, divididos pela quantidade de resíduos da indústria automobilística utilizados para a fabricação de um tijolo (1,3 kg de resíduos), obtém-se a quantidade de 6.074.688 tijolos fabricados.que juntos possibilitam fabricar 1959 casas de 64 m² por ano.

Assim sendo, pode-se afirmar com convicção que a utilização de resíduos de indústria automobilística poderá contribuir significativamente no desenvolvimento de ações sustentáveis, preservando o meio ambiente e diminuindo a exploração de recursos naturais, neste caso específico, sob a forma de argila.

A análise econômica para verificar o custo do tijolo produzido com a formulação estudada não foi feita, pois não foram avaliados os elementos que compõem toda a cadeia impactada. A seguir é apresentada a analogia frente ao processo de extração da argila “*in natura*”.

Para extração da argila, há necessidade de se identificar uma jazida, obter licença de exploração, mais a aquisição/aluguel de máquinas e equipamentos, bem como caminhões para transportar o material entre a jazida e a olaria. Dessa forma, existem custos associados a esta movimentação, que não são necessários ou até reduzidos, quando se compara com a utilização do lodo industrial, pois neste caso, o resíduo já é coletado em caçambas e posteriormente direcionado para coprocessamento. Em considerando que a movimentação entre a indústria automobilística e o coprocessamento é a mesma entre a indústria automobilística e a olaria, e entendendo que a ação

adotada deixa de ser a queima do resíduo e passa a ser a reciclagem do mesmo, com reaproveitamento fora do ciclo de produção normal, o produto final obtido pode apresentar uma redução significativa de custo devido a utilização de materiais recicláveis, considerados neste estudo como o reaproveitamento de resíduos industriais.

Além disso, a própria indústria automobilística poderá informar em seus relatórios de sustentabilidade que pesquisa, desenvolve e aplica medidas práticas, atribuindo melhores usos para os resíduos gerados em seu processo, contribuindo com ações de caráter inovador.

4.7. ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS OBTIDOS

A seguir é apresentada uma análise comparativa dos resultados obtidos da realização deste trabalho com as atividades desenvolvidas por pesquisadores que também realizaram ensaios com metodologias voltadas a aplicação dos conceitos de inertização e/ou incorporação de resíduos.

Magalhães *et al.* (2003a) identificaram fatores importantes na elaboração do trabalho que realizaram. Comentaram que os elementos que devem ser observados na elaboração de produtos cerâmicos incorporados com resíduos industriais devem ser orientados pelos seguintes fatores: excelente mistura, pressão de compressão relativamente alta e temperatura de queima (considerando tempo). A pressão de compressão/compactação, na fabricação da amostra favorece maior interação entre os materiais, contribuindo na queima das amostras, para aumento da resistência à flexão e também na incorporação (metais presentes na formulação) na estrutura vítrea contribuindo para a não ocorrência de solubilização e lixiviação, como nos casos recém observados neste trabalho.

A amostra testada na formulação ETE-A7 (utilizando Lodo de ETE da Indústria A) e a amostra ETE-B3 (utilizando lodo de ETE de Indústria B) apresentaram valores bem acima da solicitação estabelecida em norma para a resistência à flexão.

Além dos fatores mencionados acima, o percentual de água adicionado à mistura também foi de fundamental importância para proporcionar uma boa resistência ao material. Durante os ensaios realizados foi observado que amostras com baixa adição de água (cerca de 10%), após a queima a 850° C apresentaram extrema fragilidade, sendo difícil até para movimentá-las sem danificá-las.

A pressão de compactação dessas amostras seguiu o mesmo processo de preparação que as amostras com bons resultados. Portanto a água atua como elemento lubrificante proporcionando plasticidade (forças de atração entre as partículas lamelares dos argilominerais a argila).

Diante dos resultados obtidos nos ensaios realizados com as formulações contendo os resíduos de ETE da Indústria A e da Indústria B, foi possível constatar similaridade em termos de análise de resistência à flexão. Em ambos os casos foram aplicados resíduos a base de vidro. Luz e Ribeiro (2004) também aplicaram vidro como fundente e pela aplicação deste material associado à presença de Na₂O e K₂O no vidro, favoreceu a transformação de material vítreo submetendo às amostras testadas a temperatura de 850° C.

Nos ensaios realizados, foi possível observar que os resultados obtidos nas formulações testadas com vidro, permitiram dizer que o mesmo atua como elemento fundente, favorecendo baixar a temperatura de vitrificação em comparação com outros produtos adicionados a formulação. Marabini *et al.* (1998), Bingham e Hand (2005a), Almeida *et al.* (1998), Barth *et al.* (1990) também apresentaram trabalhos que evidenciaram a vitrificação e subsequente cristalização como configurações ou formulações obtidas/desenvolvidas para a estabilização de metais em estruturas cristalinas.

Pureza *et al.* (2007) apresentaram estudo sobre a influência que o tamanho de partícula apresenta sobre a produção de material cerâmico.

Kavouras *et al.* (2003a) apresentaram em seus trabalhos a vitrificação das amostras foi obtida pela adição de SiO₂ e Na₂O como agentes de vitrificação e fundente, respectivamente. O processo de vitrificação resulta normalmente em redução considerável do volume de resíduos. Em ambos os casos foram constatados os elementos por eles apresentados em suas

pesquisas, o que justifica a eliminação de resíduos nas análises de lixiviação/solubilização e na retração observada nas amostras obtidas.

Norton (1973) comenta que durante o processo de sinterização, os fundentes aceleram a formação dos materiais vítreos que recobrirão certa quantidade de poros, resultando num produto de qualidades intrínsecas melhores, como, por exemplo, maior estanqueidade à água, maior resistência mecânica, entre outros. Também evidencia que as quantidades devem ser controladas, pois os poros fechados podem gerar tensões internas no material, resultando de trincas e conseqüentemente, diminuindo a resistência mecânica do corpo cerâmico. Além disso, também podem resultar em alterações dimensionais.

Marialva-Neto *et al.* (2005) corroboram com o conceito, informando que uma das possíveis formas para inertizar e reciclar resíduos perigosos é por meio de sua vitrificação. Adiciona-se vidro a formulação, para proporcionar uma estrutura amorfa, e por meio dela se incorpora, com certa facilidade, um grande número de elementos da tabela periódica.

Nas micrografias obtidas via MEV, observou-se que os materiais testados apresentaram boa vitrificação devido ao aspecto visual demonstrado pelas estruturas em análise. Porém somente a visualização das amostras em MEV não constituiu análise que pudesse apresentar subsídio técnico para fundamentar esta afirmação, e para confirmar tal argumento, foram realizados os ensaios de DRX, FRX e Lixiviação e Solubilização das amostras definidas. Por fim, os resultados obtidos permitiram defini-los como condições seguras de inertização e possibilidade de utilização da formulação proposta para cada tipo de lodo industrial.

Silva e Melo-Castanho (2004) e Ferreira *et al.* (1999) citam que o vidro tem sido usado devido suas características químicas e físico-químicas, como um bom desenvolvidor, durante a fusão, para a homogeneidade, durabilidade e estabilidade a várias condições ambientais. Em adição, o vidro também apresenta uma estrutura amorfa aberta e pode facilmente se incorporado com uma grande variedade de elementos presentes na tabela periódica. Pela aplicação de temperatura o material que está próximo à estrutura amorfa é

incorporado a matriz vítrea não se desassociando, formando assim uma nova matriz vítrea homogênea e sem a presença de impurezas ou elementos pontuais no produto obtido, Por meio do desenvolvimento dessa estrutura vítrea é que se obtém valores abaixo das especificações e/ou nulos, nas análise de lixiviação e solubilização.

Liew *et al.* (2004) comentam que tijolos e telhas são geralmente muito heterogêneos, porque estão constituídos de argila que apresenta uma composição muito ampla. Por essa razão, estes materiais podem tolerar a presença de diferentes tipos de resíduos, mesmo em porcentagens consideráveis, como no caso apresentado para o lodo de Indústria B, com a formulação da amostra ETE-B3, queimada a 850° C.

A característica de resistência à flexão obtida pela cerâmica contendo apenas argila representou o resultado da amostra em branco, sem adição de qualquer tipo de resíduo. Várias amostras apresentaram resultados acima do valor mínimo estabelecido pela Norma NBR 31.818. Esses resultados reforçam que a utilização de lodos e demais resíduos industriais é um forte elemento para considerar sua aplicação prática no processo de fabricação de cerâmica vermelha.

Kavouras *et al.* (2003b) comentam que os elementos tóxico e/ou as substâncias químicas podem participar na formação de uma composição vítrea ou ser captado sob a forma de precipitados, ou fases de cristais, na matriz vítrea. Em todos os casos, os elementos tóxicos estão aprisionados no volume do produto vítreo e se tornam quimicamente inativos. Bingham *et al.* (2005b) também corroboram com o conceito que o tratamento térmico e a vitrificação de resíduos tem alta durabilidade química e poderiam ser seguros para fazer a disposição em terrenos, ou preferencialmente serem reutilizados em um grande número de potenciais aplicações.

Luz e Ribeiro (2004) identificaram que as amostras que não apresentavam o vidro em sua formulação obtiveram valores baixos de resistência a flexão. Esta situação pode ser observada quando se comparam os valores obtidos com as amostras ETE-B7, ETE-B8 e ETE-B9 (conforme

apresentado na TABELA 13) em relação às amostras que foram incorporadas com este material (Amostras ETE-B3, ETE-B5 e ETE-B6).

Devido à presença de elementos como K_2O e Na_2O presentes nos materiais, principalmente o vidro e as cinzas, promovem a formação de fase líquida. CaO e MgO , também apresentam a mesma característica (RIELA *et al.*, 2002). Observou-se que as amostras ETE-A7 e ETE-B3 obtidas apresentaram boa sinterização, caracterizada pela formação de estrutura cristalina com aspecto denso e uniforme, e com pequena formação de porosidade, que apresenta ocorrência normal em função das MP utilizadas que apresentavam considerável perda ao fogo.

Os resultados obtidos nos ensaios de lixiviação e solubilização não identificaram a presença das substâncias presentes inicialmente no lodo de ETE B e, portanto, estão conforme às exigências das normas brasileira.

Ensaio realizados por Xu *et al.* (2008), Weng *et al.* (2003), Basegio *et al.* (2008) e Kadir e Mohajerani (2011) propõem um tipo de tratamento inicial ao resíduo, aplicando temperaturas entre $1000^{\circ}C$ e $1200^{\circ}C$ para tornar o resíduo inerte, antes de adicionar a formulação. Desta forma, consegue-se transformar completamente a estrutura do resíduo que era perigoso. Após isso, o resíduo pode ser aplicado de maneira mais ampla e sem que ocorram prejuízos ao meio ambiente. E em vários casos apresentados pelos respectivos autores, a inertização do resíduo somente é atingida quando se trabalha com temperaturas acima de $1000^{\circ}C$.

No estudo aqui apresentado a temperatura de trabalho identificada como ideal para o desenvolvimento dos trabalhos e a obtenção dos resultados considerados conforme o que demanda a norma, foi de até $850^{\circ}C$, em que foi possível obter inertização dos componentes identificados inicialmente como perigosos. Tal resultado somente foi possível obter, tendo em vista a utilização de resíduos, sendo que o principal elemento responsável por essa condição foi a adição da microesfera de vidro moída.

Além das considerações anteriormente apresentadas, foi observado nos estudos aqui mencionados, que o aumento da temperatura de trabalho (de $700^{\circ}C$ para $850^{\circ}C$) das amostras testadas também proporcionou aumento de

resistência à flexão. Esse efeito é evidenciado a partir do momento que o material a base de vidro se transforma em uma estrutura mais maleável, permitindo a junção de partículas, formando um conglomerado de pequenas partículas muito bem unidas, de maneira que proporciona o aumento da característica de resistência a flexão.

Os ensaios descritos anteriormente permitiram avaliar o comportamento das amostras, traduzidas em características físicas e químicas, para determinar a melhor composição que atenda aos requisitos previstos na Norma Brasileira. Os principais elementos identificados para a proposição da formulação foram a presença de substâncias químicas e minerais, como por exemplo, o quartzo e a calcita, além é claro da presença de elementos como Na_2O e K_2O .

A retração linear dos produtos obtidos foi comparada com valores praticados pelas olarias e que estão na faixa de 10 até 16% de retração. Aparentemente o valor é considerável, mas explicando a situação, não consta como um parâmetro regulamentar preconizado pela norma NBR 31.818. É um parâmetro de controle que se utiliza nas olarias para monitorar o processo de fabricação levando em consideração o tipo de mistura realizada frente as dimensões do molde utilizado na fabricação do tijolo.

A presença de óxido de ferro nos materiais proporciona a redução de retração, no entanto, os valores de perda ao fogo (PF) dos resíduos que foram avaliados são muito significativos e isto sim corrobora em muito na avaliação do processo de fabricação em relação parâmetro de retração linear.

Em adição ao processo de desenvolvimento apresentado nesta tese, também foi feita solicitação de registro de patente no INPI (Instituto Nacional da Propriedade Intelectual) sob o número BR 10 2013 021540 6 na data de 23/08/13 sob o título de Método de Incorporação de Lodo de Tratamento de Efluentes Industriais para a Produção de Cerâmica Vermelha. O objetivo de solicitação de tal patente se fundamenta pelo caráter de inovação identificado no desenvolvimento da respectiva tese.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos e descritos anteriormente permitiram concluir que a incorporação de quantidade significativa de resíduos proveniente de uma indústria automobilística, mais adição de microesfera de vidro e cinza de madeira é considerada viável tecnicamente para obtenção de uma cerâmica vermelha (tijolo) em temperatura de queima a 850° C por período de 6 horas.

A adição de cinza na formulação da nova cerâmica ocorre para que o material apresente boa absorção de água, e que possa proporcionar porosidade homogênea durante o processo de queima. Além disso, a presença de elementos como o K_2O e o MgO presentes na configuração de materiais podem caracterizá-los como fundentes.

Diante dos vários autores pesquisados, é unânime a condição de utilização de materiais fundentes em materiais argilosos com o intuito de promover a fabricação de outros materiais (fabricação de cerâmica vermelha) para a obtenção do processo de inertização de materiais contendo resíduos tóxicos.

As atividades desenvolvidas na elaboração deste trabalho permitiram desenvolver conhecimento bastante amplo sobre a proposta apresentada e, sobretudo sobre o comportamento dos materiais cerâmicos e sua incorporação com resíduos industriais. Seguindo a metodologia apresentada no início do trabalho, foi possível identificar métodos de análise que permitiu caracterizar as matérias primas obtidas e as amostras confeccionadas de modo a realizar as análises que asseguraram a definição por parte do estudo estabelecido.

Os resíduos testados apresentaram condições de serem aplicados como matéria prima na formulação de materiais cerâmicos (tijolo) de modo a estabelecer uma nova categoria de materiais que pode ser utilizada na construção civil. Os resultados obtidos atenderam as Normas Brasileiras pertinentes (ISO 13818, NBR 10005, NBR 10006, principalmente em termos de resistência à flexão, retração linear, lixiviação e solubilização).

O elemento essencial na formulação das diversas amostras testadas foi o vidro, mais precisamente por sua atuação como fundente, na forma dos

elementos Na_2O , K_2O e CaO , baixando a temperatura de sinterização e vitrificação da amostra e que favoreceram a inertização dos elementos que foram caracterizados como resíduo perigoso.

Os resultados de lixiviação e solubilização apresentaram valores bem abaixo daqueles especificados pela Norma Brasileira, e desta forma se comprova que os materiais fabricados com as formulação da Amostra ETE-A7 para o Lodo de Indústria A e da Amostra ETE-B3 para o Lodo de ETE Indústria B, apresentam condições de serem aplicados no processo produtivo de uma olaria que reúne as características mínimas necessárias para assegurar o tempo de permanência a temperatura de 850°C .

No entanto, antes de sua aplicação vários ensaios devem ser realizados, assim como uma preparação dos meios de fabricação, para assegurar um bom arranque do veículo. No estudo em questão esse fenômeno foi obtido pela adição de material a base de vidro e cinzas.

Conclui-se também que a resistência à flexão é uma característica que se obtém aplicando incremento de temperatura, com resultados bastante significativos. A porosidade da amostra foi controlada pela quantidade de cinza que se aplica na formulação, portanto a quantidade de 10% estabelecida na formulação testada foi a melhor condição estabelecida como condição de uso do respectivo material.

Além dessas variáveis, a força de compactação das amostras e a umidade relativa também contribuíram para obtenção de bons resultados de resistência a flexão.

Com intuito de desenvolver novos estudos, assim como propor a continuação ou aplicação do presente trabalho, seguem sugestões para trabalhos futuros:

- 1) Desenvolver pesquisa na área de aproveitamento de argila branca em combinações com lodo de Indústria A e Indústria B para desenvolver material cerâmico refratário, sem contemplar a adição de vidro.
- 2) Aplicar conceitos e formulações dos lodos da Indústria A e da Indústria B, estabelecidos neste trabalho, no processo de fabricação de uma

olaria, considerando a avaliação e verificação prática dos parâmetros estabelecidos.

- 3) Desenvolver estudo considerando as formulações referentes às amostras ETE-B7 e ETE-B8 que podem ser consideradas possíveis formulações a avaliar, aplicando os mesmos parâmetros testados e apresentados neste trabalho.
- 4) Desenvolvimento de estudo para propor uma Lei ou Resolução e estabelecer regras às indústrias visando promover e estimular a utilização de materiais residuais, estabelecendo em função disso, uma vantagem competitiva via redução da incidência de impostos sobre os produtos industrializados – IPI.

6. REFERÊNCIAS

ABRECON – Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição, 2013.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR 9.000:2000**: sistemas de gestão da qualidade: fundamentos e vocabulário.

———. **NBR 10.004:2004** resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

———. **NBR 10.005:2004**: procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

———. **NBR 10.006:2004**: procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

———. **NBR 13.818:1997**: placas cerâmicas para revestimento: classificação. Rio de Janeiro, 1997.

———. **NBR 14.001:2004**: Implementação de Sistemas de Gestão Ambiental, Rio de Janeiro, 2004.

———. **NBR 14.040:2001**: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura, Rio de Janeiro, 2001.

———. **NBR 15.271-1** – Bloco Cerâmico para Alvenaria – Componentes cerâmicos - Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ALBERS, A. P. F., MELCHIADES, F. G., MACHADO, R., BALDO, J. B., BOSCHI, A. O. Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X, Revista Cerâmica Jan/Fev/Mar, São Paulo, 2002.

ALMEIDA, M.I.A., AMARAL, M.R., CORREIA, A.M.S., and ALMEIDA, M.F. Ceramic building materials as an alternative to disposal of sewage sludge, Environmental Geotechnics, P.S. Seco e Pinto (ed.), Balkema, Rotterdam, 1998.

ALVES, Ronaldo David, Revista da ESPM - Escola Superior de Propaganda e Marketing – Conceitos de sustentabilidade, Vol. 17, No 1, 2010.

AMBIENTE BRASIL – Análise de Ciclo de Vida – ACV, disponível em: [http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/analise_do_ciclo_de_vida_\(acv\)_e_reciclagem.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/analise_do_ciclo_de_vida_(acv)_e_reciclagem.html) , 2012.

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica – disponível em: www.anicer.com.br, pesquisa realizada em 13/04/12.

ASHBY, Michael F., *Materials and the Environment – Eco-Informed Material Choice*, Elsevier, Canada, 2009.

ARAÚJO, L. A., *Manual de Siderurgia*, Editora Arte e Ciência, Vol. 1 Produção, São Paulo, 1997

BALATON V. T., GONÇALVES P.S., FERRER L.M. Incorporação de resíduos sólidos galvânicos em massa cerâmica vermelha. *Revista Cerâmica Industrial*, São Paulo, Senai, v. 7, n.6, nov/dez. 2002.

BARBIERI, José Carlos, *Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*, 2ª edição, Editora Saraiva, São Paulo, 2007.

BARTH, E.F.; PERCIN, P. *Stabilization and Solidification of Hazardous Waste. Pollution Technology Review*, New Jersey, n. 186, 1990.

BASEGIO, T.M., VILLNOVA, D.L., BERGMANN, C.P., Obtenção de produtos cerâmicos convencionais a base de lodo galvânico, 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Salvador, Bahia Junho, 2007.

BASEGIO, T, BECK LEÃO, A.P., BERNARDES, A.M., BERGMANN, C.P., *Vitrification: An alternative to minimize environmental impact caused by leather industry wastes*, *Journal of Hazardous Materials*, 2008.

BATISTA, V.R., NASCIMENTO, J.J.S., LIMA, A.G.B de, *Secagem e retração volumétrica de tijolos cerâmicos maciços e vazados: uma investigação teórica e experimental*, *Revista Matéria*, V14 n4, RJ, 2009

BERGAYA, F., THENG, B.K.G., LAGALY, G, *Handbook of Clay Science*, First Edition, Elsevier, Oxford, UK, 2006.

BINGHAM, P.A., HAND, R.J., *Vitrified metal finishing wastes, I. Composition, density and chemical durability*, *Journal of Hazardous Materials*, 2005a.

BINGHAM, P.A., HANDA, R.J., FORDER, S.D., LAVAYSIERRE, A., *Vitrified metal finishing wastes II. Thermal and structural characterization*, *Journal of Hazardous Materials*, 2005b.

BITENCOURT, Edson Raupp de, *Utilização de Matéria-Prima Alternativa na Fabricação de Tijolos de Argila Vermelha e Branca*, Dissertação de Mestrado, UDESC – SC, Joinville, 2004.

BOCH, Philippe e NIEPCE, Jean-Claude, *Ceramic Materials – Processes, Properties and Applications*, ISTE Ltd, London, 2007

BOHÓRQUEZ, L.A.B. Situacion Ambiental del Setor de Recubrimiento de Metales – Galvanoplastia - Chile, Colômbia e Equador, 1997.

BORGO, Simone Canfield, **Minimização e Reciclagem de lodo Galvânico e Poeira de Jateamento**, Dissertação de mestrado, UFPR, Curitiba, 2005

BORLINI, M.C., SALES, H.F., VIEIRA, C.M.F., CONTE, R.A., PINATTI, D.G., MONTEIRO, S.N., Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha - Parte I: características da cinza, Revista Cerâmica No 51, 2005.

BRAGANÇA S.R. e BERGMANN C.P. comparação das propriedades de uma porcelana que utiliza vidro como fundente com uma tradicional – parte II; análise de fases e propriedades mecânicas, Annual Meeting of the Brazilian Ceramic Society, Curitiba, 2004.

BRITO, F. Iran Gomes de, MEDEIROS, Katarine F. e LOURENÇO, Jorge Magner, Um estudo teórico sobre a sinterização na metalurgia do pó, Holos, Ano 23, Vol. 3, 2007

BRUNDTLAND, G.H. Nosso futuro comum: comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento. 2.ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

BRÜSEKE, Franz Joseff - Estudos para uma sociedade sustentável - A Economia da Sustentabilidade: Princípios – O Problema do Desenvolvimento Sustentável, Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministerio de Educacao, Governo Federal, Recife, Brasil. Outubro 1994. Disponível na internet: <http://168.96.200.17/ar/libros/brasil/pesqui/cavalcanti.rtf> , 1994.

CARDOSO, Antônio Valadão, e TOLENTINO, Evandro, Ciência dos Materiais, disponível em: <http://www.cienciadosmateriais.org/index.php?acao=projeto> , acesso fevereiro de 2013

CAMARGO, Antonio Carlos de; PORTELA, José Carlos da Silva e YOSHIMURA, Humberto Maoyuki - Adição de Metais Tóxicos a Massas Cerâmicas e Avaliação de sua Estabilidade Frente a Agente Lixiviante. Parte 1: Avaliação das Características Físicas, Revista Cerâmica Industrial Março/Abril 2005.

CAPRA, F., As conexões ocultas: ciência para uma vida sustentável. São Paulo: Ed. Cultrix, 2002.

CASTANHO, S.R.H.M. e FERREIRA, D.M. Incorporação de rejeitos sólidos galvânicos em vidros silicatos. Instituto de pesquisas energéticas e nucleares. 45, 2001. Florianópolis. CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA. **Anais**.

CASTANHO, R.H.M. **Ipen cria método para transformar resíduo tóxico em vidro**. Disponível em <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/ciencia>>. Acesso: maio, 2005.

CASTRO, Fernando; VILARINHO, Cândida, SOARES, Delfim. Gestão de Resíduos Industriais por Incorporação em Materiais para Construção Civil, Valorização de Resíduos; n. 1; Portugal Abril 2003.

CAVALCANTI, Clóvis, Desenvolvimento e Natureza: Estudos para Uma Sociedade Sustentável, Breve Introdução à Economia da Sustentabilidade, Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério da Educação, Governo Federal, Recife, Brasil. Outubro 1994. Disponível na internet: <http://168.96.200.17/ar/libros/brasil/pesqui/cavalcanti.rtf> , 1994.

CEC – Commission of European Community, Acts II number 2004/317/EC, Official Journal of the European Union, United Kingdom, 2004.

CIC - CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Guia de Sustentabilidade na Construção. Belo Horizonte: FIEMG, 2008.

CIMM – Centro de Informação Metal Mecânica, artigo Indústria e Meio Ambiente, acesso realizado em 22/07/2012, disponível em http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3664

CIOFFI R., LAVORGNAB M., SANTORO L. Environmental and technological effectiveness of a process for the stabilization of a galvanic sludge. Journal of Hazardous Materials. n.89, 2002.

CHEMETALL. Processo de Fosfatização. Apostila de Treinamento, Emitido por Chemetall do Brasil Ltda. 2009.

CMMAD – Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Nosso Futuro Comum. Editora da Fundação Getulio Vargas. 2º edição. Rio de Janeiro-RJ, 1991.

COLOMBO, P., BRUSATIN, G., BERNARDO, E., SCARINCI, G., Inertization and reuse of waste materials by vitrification and fabrication of glass-based products, Current Opinion in Solid State and Materials Science 7, 2003.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, Resolução nº 307: Diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, 2002.

———. Resolução nº 313/2002 Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, 2002.

CURITIBA. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA, Instituto Ambiental do Paraná – IAP. Política de resíduos sólidos do estado do Paraná: Programa Desperdício Zero. Curitiba, 2003

DAMIEN, Alain, Guide du Traitement des Déchets – Industries Techniques – Serie Environnement, Maison d'édition Dunod, Paris, 2002.

Da SILVA, N.I.W., CALARGE, L.M., de MELLO, F.D., Estudo da Aplicação da Argila e Cinzas de Carvão como Matérias Primas Cerâmicas, Anais do 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Florianópolis, 1999.

DINIZ, Eliezer Martins, Os Resultados da RIO+10, Revista do Departamento de Geografia – USP, SP, Volume 15, 2002.

Directive Européenne 2008/98/CE – Parlement Européen du Conseil du 19 de novembre de 2008, relative aux déchets et abrogeant certaines directives, Strasbourg, 2008.

DUARTE, Anaxsandra da Costa Lima, Incorporação de Lodo de Esgoto na massa cerâmica para a fabricação de tijolos maciços: uma alternativa para a disposição final do resíduo, Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

DUTRA, R.P.S., ARAÚJO, P.A.S., VARELA, M.L., NASCIMENTO, R.M., GOMES, U.U. e PASKOCIMAS, C.A., Propriedades tecnológicas de materiais cerâmicos de base argilosa conformados por extrusão e submetidos a diferentes ciclos de queima, 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu.

DUVOISIN, Ivane, SOUZA, Moacir Langoni de, GALIAZZI, Maria do Carmo, A Pesquisa em Sala de Aula como Metodologia para Complexificar o Discurso Ambiental, Contrapontos - volume 3 - n. 1, Itajai, jan./abr. 2003.

EROL, M., KÜÇÜKBAYRAK, A., ERSOY-MERİÇBOYU, A., Production of glass-ceramics obtained from industrial wastes by means of controlled nucleation and crystallization, Chemical Engineering Journal 132, 2007.

EROL, P. and THOMING, J., ECO-optimization of pre-treatment processes in metal finishing. Computers and Chemical Engineering, 2005.

FANG, L.; BAPTISTA, M. V. S.; BARDECKI, M. Sistemas de gestão ambiental. Brasília, 2001.

FERREIRA, J.M.F., ALVES, H.M. and MENDONÇA, A.M., Inertization of galvanic sludges by its incorporation in ceramic products, Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, 1999.

FOLADORI, G – Avanços e limites da sustentabilidade social, Revista Paranaense de Desenvolvimento, Curitiba No 102, jan./jun. 2002.

FOLADORI, G e TOMMASINO, H., El concepto de desarrollo sustentable treinta años después, Desenvolvimento e Meio Ambiente, No. 1, jan/jun., Editora da UFPR, 2000

FURTADO M. R. Aterros especiais: oferta responsável não impede de descarte em lixões. Revista Química e Derivados. São Paulo, no 434, p. 12, fev. 2005.

GHALI, E.L. e POTVIN, R.J.A. The Mechanism of Phosphating a Steel, Corrosion Science, Volume 2, 1972.

GARCIA-VALLES, M., AVILA, G. MARTINEZ, S., TERRADAS, R. e NOGUE'S J.M. Heavy metal-rich wastes sequester in mineral phases through a glass–ceramic process, Chemosphere 68, 2007.

GARCIA, M. Luffiego; VERGARA, J. M. Rabadán. La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza. Enseñanza de las Ciências, España, v. 18, n. 3, p. 473-486, 2000.

GODINHO, K. O.; HOLANDA, J. N. F. e DA SILVA, A. G. P., Obtenção e avaliação de propriedades tecnológicas de corpos de prova à base de argila e vidros reciclados. Revista Cerâmica Industrial v. 51, São Paulo, 2005.

GOMES, C.F. Argilas: o que são e para que servem. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1988.

HAMMES, V.S. Percepção do diagnóstico ambiental. São Paulo: Editora Globo, 2004.

HAWKEN, Paul, LOVINS, Amory e LOVINS, L. Hunter, Capitalismo Natural – Criando a Próxima Revolução Industrial, Editora Cultrix/Amaná-Key, São Paulo, 2007.

HRMA, P. R. and Smith, P. A., The effect of vitrification technology on waste loading – Presented at the Spectrum '94 Nuclear and Hazardous Waste Management Internatinol, Atlanta, Georgia, August, 1994.

IG, Disponível em

<http://carros.ig.com.br/especiais/veja-o-mapa-das-novas-fabricas-de-automoveis-do-brasil/6523.html>, consulta realizada em 20/10/2013.

KADIR, Aeslina Abdul, MOHAJERANI, Abbas Mohajerani, Bricks: an excellent buiding material for recycling wastes – a review, Environmental Management and Engineering, 2011

KAVOURAS, P, KAIMAKAMIS, G., IONDANNIDS, Th.A., Kehagias, Th, Komninou, Ph., Kokkou, S., Pavlidou, E., Antonopoulos, I., Sofoniou, M., Zouboulis, A., Hadjiantoniou, C.P., Nouet, G., Prakkouras, A. and Karakostas, Th., Vitrification of lead-rich solid ashes from incineration of hazardous industrial wastes, *Journal of Waste Management*, 2003a.

KAVOURAS, P., KOMNINOU, Ph., CHRISSAFIS, K., KAIMAKAMIS, G., KOKKOU, S., PARASKEVOPOULOS, K., KARAKOSTAS, Th., Microstructural changes of processed vitrified solid waste products, *Journal of the European Ceramic Society*, 2003b.

KIM, Y., KIM, J.H., LEE, K.G. e KANG, S.G. - Recycling of dust wastes as lightweight aggregates, *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 6, No. 2, 2005.

KOLLER, Emilian, *Traitement des Pollutions Industrielles – Eau, Air, Déchets, Sols et Boues, L'Usine Nouvelle – Serie Environnement et Sécurité*, Maison d'édition Dunod, Paris, 2004.

Lei Estadual No 12.493/99 - Estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes a geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná, Curitiba, PR, 1999.

Lei Federal No 9.605/98 - Sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente – Lei de Crimes Ambientais, Brasília, DF, 1.998.

Lei Federal No 12.305 - Política Nacional de Resíduos Sólidos, Brasília, DF, 2.010.

LEITE, Bárbara Zanicotti, PAWLOWSKY, Urivald, Alternativas de Minimização de Resíduos em uma Indústria de Alimentos da Região Metropolitana de Curitiba, *Revista Engenharia Sanitária*, Vol 10, No 2, Abr-Jun 2.005.

LIEW, Abdul G., IDRIS, Azni, SAMAD, Abdul A., WONG, Calvin H.K., JAAFAR, Mohd S. and BAKI, Aminuddin M., Reusability of sewage sludge in clay bricks, *Journal of Mater Cycles Waste Manager*, 2004.

LOVINS, Amory, *Revista HSM Management*, Maio-Junho 2010, HSM do Brasil, Siga o Mestre do Capitalismo Natural, reportagem de Michael S. Hopkins, Editor da MIT Sloan Management Review, 2010.

LUZ A.P. e RIBEIRO S. Comportamento de queima de uma massa cerâmica contendo pó de vidro como fundente visando a obtenção de grês porcelanato. Curitiba. Annual Meeting of the Brazilian Ceramic Society. Anais.48, 2004,

MAGALHÃES J.M., SILVA J.E., CASTRO F.P., LABRINCHA J.A., Kinetics study of the immobilization of the galvanic sludge in clay-based matrix. *Journal of Hazardous Materials*, abr. 2004.

——— a). Effect of experimental variables on the inertization of galvanic sludge in clay-based ceramics. *Journal of Hazardous Materials*, set. 2003.

——— b). Role of the mixing conditions and compositions of galvanic sludges on the inertization process in clay-based ceramics. *Journal of Hazardous Materials*, nov. 2003.

MARABINI, Anna Maria, PLESCIA, Paolo, MACCARI, Dante, BURRAGATO, Francesco, PELINO, Mario, New materials from industrial and mining wastes: glass-ceramics and glass- and rock-wool fibre, *International Journal of Mineral Processing*, 1998.

MARIALVA-NETO, A. A., CUNHA, S. M., DA-SILVA, A. C., MELLO-CASTANHO, S.R.H., Solid Galvanic Wastes Incorporation in Glass Matrices, *Materials Science Forum*, 2005

MENDONÇA, Carlos Manuel Rodriguez, Activação Alcalina e Inertização de Resíduos Industriais – Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Portugal, 2007.

MELLO-CASTANHO, S.R.H., FERREIRA, D.M. and CUNHA, S. M., Inertization of Galvanic Waste in a Silicate Glass, *Key Engineering Materials Vols. 264-268* (2004)

MME – Ministério de Minas e Energia – Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - SGM, Perfil de argilas para Cerâmica Vermelha, Desenvolvimento de estudos para elaboração do plano dou decenal (2010 – 2030) de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Setembro 2009.

MYMRIN, Vsévolod, CANFIELD, Simone Borgo, PONTE, Haroldo A., Resíduos de processos galvânicos como principais componentes da produção de cerâmica vermelha, *Revista Cerâmica Industrial*, Setembro/Dezembro 2006.

MYMRINE, V, JUNIOR, V.M.T., RIBEIRO, R.A.C, PONTE, H.A., Alternativa de utilização de lodo automobilístico em materiais cerâmicos para a construção civil, 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Salvador, Bahia Junho, 2007.

NAREDO, J. M. Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible. *Documentación Social*, n. 102, p.129-147, 1996.

NORTON, F.H. Introdução à tecnologia cerâmica. Edgard Blücher, São Paulo, 1973, SP.

OLEVSKY, E. A., Theory of Sintering: from Discrete to Continuum. *Materials Science and Engineering*, 1998.

OLIVEIRA, Camila Felipe de, Influência do Teor de Feldspato Espodumênio e Albita na Sinterização de uma Massa Cerâmica Triaxial, São João del Rei, MG, 2012.

Organização das Nações Unidas, RIO +20 – O Futuro que Queremos, Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável, Janeiro de 2012. Disponível em: http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/OFuturoqueQueremos_rascunho_zero.pdf

PAULI, Gunter. Emissão Zero – A Busca de Novos Paradigmas: o que os negócios podem oferecer à sociedade, 1996

PAULI, Gunter. Upsizing: como gerar mais renda, criar mais postos de trabalho e eliminar a poluição. Porto Alegre: Fundação Zeri Brasil/L&PM, 1998. 306 p.

PAWLOWSKY, U. Reaproveitamento de resíduos industriais. Curitiba: SUREHMA, 65p. 1983.

PAWLOWSKY, U. Apostila do Curso de Tecnologia Limpa. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

PISCIELLA, P, CRISUCCI, S., KARAMANOV, A. e PELINO, M., Chemical durability of glasses obtained by vitrification of industrial wastes, Waste Management 21, Elsevier Science Ltd. 2000.

PONTE, H.A.; PONTE, M.J.J.S.; MAUL, A. M. Apostila de Pintura Automotiva. Curitiba, 2000.

PORTO ROSSI, M. A., AS ARGILAS, Disponível em: www.portorossi.art.br/as_argilas.htm, 2003, 10/04/13.

PPG – Apostila de Treinamento – Processo Eletrocoat, Sumaré, 2009.

PUREZA, Júlio César Cestari, VICENZI, Juliane e BERGMANN, Carlos Pérez, Utilização de Resíduos de Baixa Granulometria como Matéria-prima na Produção de Cerâmica Vermelha: Considerações quanto aos Mecanismos de Sinterização, Revista Cerâmica Industrial, Maio/Junho, 2007

RENAULT DO BRASIL, Apostila de Integração – Processo de Pintura, São José dos Pinhais, PR, 2009.

RIBEIRO, Celso Munhoz, GIANNETI, Biagio F., ALMEIDA, Cecília M.V.B., Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): Uma Ferramenta Importante da Ecologia Industrial, disponível em <http://www.hottopos.com/regeq12/art4.htm>, acesso em 22 de julho de 2012.

RICHERSON, David, W., Modern Ceramic Engineering – Properties, Processing and Use in Design, 2nd Edition, Revised and Expanded, Marcel Dekker Inc, New York, 1982.

RIELLA, H. G., FRANJNDLICH, E.U. de C., DURAZZO, M. – Caracterização e Utilização de Fundentes em Massas Cerâmicas, Cerâmica Industrial, Maio/Junho, 2002.

RYDING, S. "International Experiences of Environmentally Sound Product Development Based on Life Cycle Assessment", Swedish Waste Research Council, AFR Report 36, Stockholm, 1994.

SANCHEZ-MUÑOZ, L, CAVA, S. da S., PASKOCIMAS, C. A., CERISUELO, E., LONGO, E., CARDA, J. B., Modelling of the vitrification processo f ceramic bodies for writeware, Cerâmica 48 (308), Out/Nov/Dez, 2002.

SANKARA NARAYANAN, T.S.N., Performance Evaluation of Phosphating Formulations in Continuous Operation. Metal Finishing. 40-43. Setembro, 1996.

SANTOS, P.S. Ciência e tecnologias de argilas. São Paulo: Edgard Büchner, 1989.

SENAI. Serviço Nacional de Indústria. Manual de orientações técnicas básicas para a minimização de efluentes e resíduos na indústria galvânica. Porto Alegre: Senai-RS, 2002.

SENAI, Serviço Nacional de Indústria. Implementação de Programas de Produção mais Limpa, Centro Nacional de Tecnologias Limpas – SENAI-RS/UNIDO/INEP, Porto Alegre, RS, 2003.

SILVA A.C.; CASTANHO S.R.H.M. Silicato glasses obtained from fine silica powder modified with galvanic waste addition. Journal of Non-Crystalline Solids. Science Direct, 2004.

SILVA, A.C., MELLO CASTANHO, S.R.H., Silicate glasses obtained from fine silica powder modified with galvanic waste addition, Journal of Non-Crystalline Solids, 2004

SILVA, A.G.P. e ALVES JUNIOR, C.; A sinterização rápida: sua aplicação, análise e relação com as técnicas inovadoras de sinterização, 1998.

SISINNO C.L.S., OLIVEIRA R.M. Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2000.

SOUZA, L.G.M, GALVÃO, A.C.P., VARELA, P.H.A.; VIEIRA, A.P.N.B., SANTOS, N.R.G., Uso de Rejeitos de Vidro na Produção de Tijolos Cerâmicos para Aplicação Térmica, 20º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Joinville – SC, 2012.

SOLYON, G. J. P., Minimização e Reaproveitamento de resíduos de uma indústria de tintas e impressão de papéis decorativos, Dissertação de Mestrado, UFPR, 2009.

STAHEL, A.W. Capitalismo e entropia: os aspectos ideológicos de uma contradição e a busca de alternativas sustentáveis. In: CAVALCANTI, C. et al.. (org.). Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável. 2. ed. São Paulo: Cortez, 1998.

STARLING, Ana Rita de Almeida Ribeiro, Avaliação de metodologias de simulação física do processo de sinterização, UFMG, Belo Horizonte, 2012.

TEIXEIRA-NETO, Érico e TEIXEIRA-NETO, Ângela Albuquerque, Modificação química de argilas: desafios científicos e tecnológicos para obtenção de novos produtos com maior valor agregado, Química Nova, Vol. 32, No. 3, 2009.

TORRES, Antonio Villaça, Sustentabilidade Urbano-Ambiental no Distrito Industrial de São José dos Pinhais com a Implantação do Complexo Ayrton Senna, Dissertação de Mestrado, UTFPR, Curitiba, PR, 2007.

TRISTÃO, M. A educação ambiental na formação de professores: redes de saberes. São Paulo: Annablume; 2004.

USEPA, Handbook - Vitrification Technology for treatment of hazardous and radioactive waste, Assessment Ohio: EPA, 1992.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Programa de Prevenção à Poluição** – P2. Disponível em: <http://www.epa.gov/p2/>, 2013.

VALLE, C. E. do. Como se preparar para as Normas ISO 14000: qualidade ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente. São Paulo: Pioneira, 2000.

VASCONCELLOS, Maria José Esteves de, O Novo Paradigma da Ciência, Campinas, SP, Editora Papirus, 4ª edição, 2005.

VELDE, B.; Introduction to Clay Minerals, Chapman & Hall: London, 1992.

WENG, Chih-Huang, LIN, Deng-Fong, CHIANG, Pen-Chi, Utilization of sludge as brick materials, Journal of Advances in Environmental Research, 679-685, 2003.

WESCHENFELDER, Wilson Junior, Atividades de Educação Ambiental como ferramenta para construção do conhecimento. Santa Cruz do Sul, 2005.

WWF Brasil, Disponível em: http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/, consulta realizada em 06/03/12.

WIEMES, Leandro e PAWLOWSKY, Urivald, Minimização de Resíduos no Processo de Pintura de uma Indústria Automobilística, Dissertação de Mestrado, 2003.

WIEMES, Leandro e PAWLOWSKY, Urivald, Minimizando os resíduos no processo de pintura automobilística, Revista Banas Qualidade, Número 200, Ano/Vol: 18 – BQ_200/18, Pág 40-47, ISSN: 1676-7845, Editora EPSE de Produtos e Serviços Ltda, São Paulo, Janeiro, 2009.

WIEMES, Leandro, MYMRINE, Vsévolod and PAWLOWSKY, Urivaldo, Industrial Wastes to Produce Red Ceramics by Inertization Process, Journal of Environmental Chemical Engineering, Submission realized in 3rd October, 2013.

XU, G.R., ZOU, J.L., LI, G.B, Stabilization of heavy metals in ceramsite made with sewage sludge, Journal of Hazardous Materials, Received 04 March 2007.

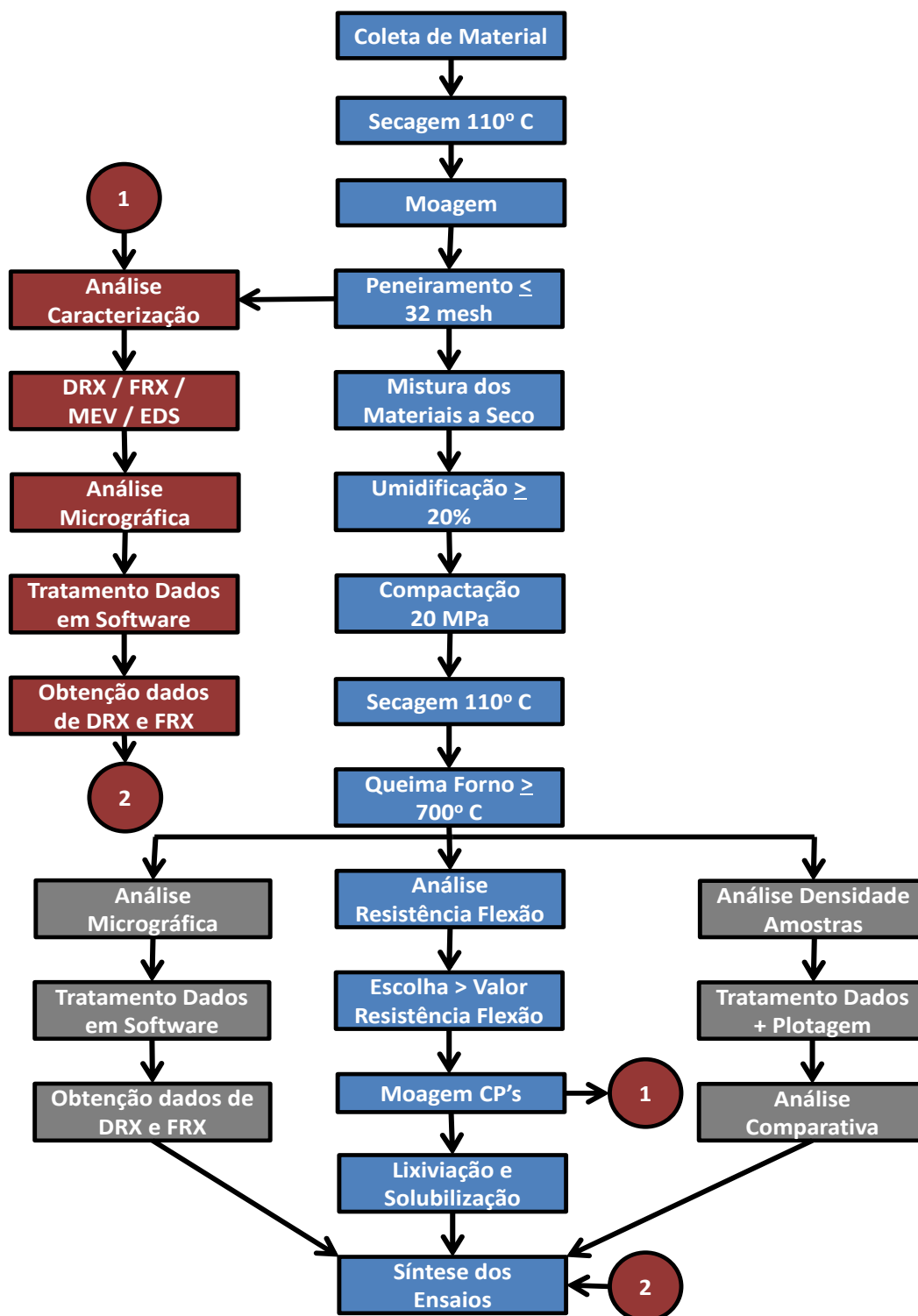
YOSHIMURA, Humberto Naoyuki, CAMARGO, Antonio Carlos de, PORTELA, José Carlos da Silva, Adição de Metais Tóxicos a Massas Cerâmicas e Avaliação de sua Estabilidade frente a Agente Lixiviante. Parte 2: Lixiviação, Revista Cerâmica Industrial, Julho/Agosto, 2005,

ZERI – Zero Emissions Research & Initiatives. Disponível em: <http://www.zeri.org.br/>. Acesso em: 17 jul. 2010.

ANEXOS

ANEXO I

Diagrama da Preparação de Amostras



Fonte: Dados trabalhados pelo autor (2013)

Resíduos Industriais para Produzir Cerâmica Vermelha pelo Processo de Inertização

ANEXO II

Sinótico da Preparação de Amostras e Processo de Fabricação de Incorporação de Resíduos

